

Matias Poukka

Kauppakeskuksen ilmanvaihdon energiatehokkuus

Opinnäytetyö

Syksy 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Matias Poukka

Työn nimi: Kauppakeskuksen ilmanvaihdon energiatehokkuus

Ohjaaja: Pasi Junell

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 50

Liitteiden lukumäärä: 5

Tämän työn tarkoituksena on parantaa kauppakeskuksen ilmanvaihdon energiatehokkuutta. Kauppakeskus on vanha ja sitä on laajennettu ja kunnostettu useaan otteeseen. Kauppakeskuksen lämmön talteenotossa on puutteita.

Opinnäytetyössä kartoitetaan kauppakeskuksen ilmanvaihtojärjestelmä ja tutkitaan, miten lämmön talteenotto kannattaa toteuttaa. Ilmanvaihdosta pyritään tekemään energiatehokas ja nykyaikainen. Erityyppisten järjestelmien kustannuksia verrataan lämmitys- ja sähköenergian säästöihin. Opinnäytetyössä tarkastellaan energiansäästöinvestoinnin kannattavuutta eri laskentamenetelmillä. Saavutettuja tuloksia verrataan laskennallisiin kustannuksiin, toteutuneisiin kulutuksiin ja vertailukohteseen.

Ilmanvaihtojärjestelmän parantaminen ja lämmöntalteenottolaitteiston lisääminen parantavat energiatehokkuutta merkittävästi. Kiinteistön omistajan ja sijoittajien näkökulmasta on tärkeää selvittää investointien kannattavuus. Kustannuksilla saatava tuotto on tässä tapauksessa säästetty energia, rakennuksen arvomuutos sekä liiketilöiden houkuttelevuus.

Tulosten perusteella vaadittavaa tuottoa investoinnille ei saada lämmön talteenottolaitteiston rakentamisella rakennuksen elinkaaren ollessa alle 20 vuotta. Automaatiolla voidaan kuitenkin saavuttaa merkittäviä säästöjä ja parempia olosuhteita pienin kustannuksin.

Avainsanat: energiatehokkuus, kustannustehokkuus, lämmön talteenotto, ilmanvaihtojärjestelmät, kauppakeskukset

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author/s: Matias Poukka

Title of thesis: Energy efficiency of the ventilation for the shopping center

Supervisor(s): Pasi Junell

Year: 2017

Number of pages: 50

Number of appendices: 5

The purpose of this work was to improve the energy efficiency of ventilation at a shopping center. The shopping center is old and it has insufficient heat recovery system. The shopping center has been expanded and repaired on several occasions.

This thesis mapped the ventilation system of a shopping center and explored how the heat recovery system should be executed. The goal was to make the ventilation system energy-efficient and modern. The costs of different types of systems were compared with the savings in heating and electricity costs. The thesis investigated the profitability of investments in energy saving.

Improving the ventilation system and increasing the heat recovery system improves energy efficiency significantly. From the point of view of the property owner and investors, it is important to find out how profitable the investments would be. The gains on the investments in this case would be energy savings, increased value of the building and improved attractiveness of the retail premises which are all important factors both for the property owner and users.

In this case adding a heat recovery system will not obtain the required return on investment because the remaining life cycle of the building is less than 20 years. However, significant savings and better conditions can be achieved at a low cost due to automation.

Keywords: energy efficiency, cost efficiency, heat recovery, ventilation systems, shopping centers

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO.....	8
2 TOIMIVA ILMANVAIHTO	9
2.1 Sisäilmasto.....	9
2.2 Vaatimukset sisäilmastolta	9
2.3 Ilmanvaihtojärjestelmät.....	10
3 RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUS.....	12
3.1 Rakennuksen kokonaisenergiatehokkuus	12
3.2 Tulo- ja korvausilman lämmitysenergian tarve	14
3.3 Sähköenergiankulutus ja SFP	18
3.4 Ilmanvaihtojärjestelmän muuntaminen energiataloudellisemmaksi	19
3.5 Lämmöntalteenotto	21
3.6 Poistoilmalämpöpumppu	25
3.7 Automaatiikka.....	25
4 INVESTOINTIPROJEKTI	26
4.1 Nykyarvomenetelmä	26
4.2 Annuiteettimenetelmä	27
4.3 Sisäisen korkokannanmenetelmä	27
4.4 Takaisinmaksuaika.....	28
5 ESIMERKKIKOHTTEEN TARKASTELU	29
5.1 Yleisesti kohteesta	29
5.2 Ilmanvaihdon kartoittaminen	31
5.3 Välittömät muutokset.....	33
5.4 Ehdotetut ratkaisut lämmön talteenottoon.....	35
5.5 Muut kustannukset	43
5.6 Vertailukohde	44

6 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET.....	47
LIITTEET	49

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Ilmanvaihdon konehuone (Matias Poukka 9.5.2017)	31
Kuvio 1. Kaukolämmön tuotanto ja kulutus (Tilastokeskus 2017).	12
Kuvio 2. LTO:lla kerrytetty säästö eri vuosihyötysuhteilla.	42
Taulukko 1. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen lämpötilasuhteen arvoja (D5. 2012, 21–22).	16
Taulukko 2. TK-1 vanha käyntiajat.	32
Taulukko 3. TK-2 vanha käyntiajat.	32
Taulukko 4. Käyttö- ja käyntiaika.	34
Taulukko 5. Energialaskelmat.	37
Taulukko 6. Lämmityskustannukset.	39
Taulukko 7. Nykyisille tulokoneille ja yhdelle huippuimuri katokselle lasketut investoinnin kannattavuuden arviot.	40
Taulukko 8. Hajautetulle LTO-järjestelmälle ja uudelle tuloilmakoneelle (25000 €) lasketut investoinnin kannattavuuden arvot.	41
Taulukko 9. Uudelle koneparille lasketut investoinnin kannattavuuden arvot.	41

Käytetyt termit ja lyhenteet

Käyttöaika	Aika jona rakennusta tai tilaa käytetään sen käyttötarkoituksen mukaisesti.
Lämpötilasuhde	Lämmöntalteenottolaitteiston lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilan muutoksen suhdetta poisto- ja ulkoilman lämpötilojen erotukseen lämmönsiirtimessä.
Ilmastointi	Huoneilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden ja ilman liikkeen hallintaa tulo- tai kierrätysilmaa käsittelemällä.
SFP	Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän yhteenlaskettu sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän mitoitussilmavirralla
LTO	Lämmöntalteenotto, ottaa lämpöenergiaa talteen poistoilmasta ja siirtää sen tuloilmaan.
Q_{iv}	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, Lämmitysenergian tarve, joka muodostuu ilman lämmittämisestä lämmöntalteenoton jälkeen tuloilman lämpötilaan.
Q_{lto}	Poistoilmasta talteen otettu energia.
η_a	LTO-laitteen vuosihyötysuhde kuvaa, kuinka suuri osuus ilmanvaihdon tarvitsemasta lämmitysenergiasta kätetään LTO:lla. LTO-laitteen vuosihyötysuhde ottaa huomioon koko lämmityskauden, rakennuksen sijainnin sekä lämmönsiirtimen jäätyksen eston vaikutuksen.
Teho automaatioissa	Käytetään Oumanin käyttöliittymän mukaisia merkintöjä puhallintehoille. Täysteho 1/1, puoliteho ½ ja pois päältä 0, taajuusmuuttajalla varustetussa laitteessa tehoprocenttien mukaan esim. 70 %.

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus on energian tehokasta käyttöä ja kasvihuonepäästöjen vähentämistä kustannustehokkaalla tavalla. Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on parantaa Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevan kauppakeskuksen energiatehokkuutta. Työssä keskitytään ilmanvaihtojärjestelmiin ja etenkin lämmöntalteenotolla (LTO) saavutettaviin säästöihin. Samalla kohteen sisäilmaolosuhteita pyritään parantamaan. Työn tilaajana toimii kiinteistöosakeyhtiö. Työ toteutetaan yhteistyössä LVI-suunnittelijoiden, laitevalmistajien ja ilmanvaihtourakoitsijoiden kanssa.

Kiinteistön ensimmäinen osa on rakennettu 1900-luvun alkupuolella. Vanhan kaupparakennuksen ympärille on rakentunut lisää osia useina vuosikymmeninä. Ilmanvaihtoa on saneerattu vuonna 2016, mutta lämmön talteenoton kannalta kyseinen saneeraus jäi puutteelliseksi. Rakennuksessa toimii marketti, joka täyttää noin puolet pohjakerroksesta. Marketilla on omat ilmanvaihtojärjestelmänsä, joka ei sisälly tähän opinnäytetyöhön. Kauppakeskuksessa liiketilat ovat pohjakerroksessa, kellarikerroksessa sijaitsee varastoja ja toisessa kerroksessa sosiaali-tiloja, toimistoja ja varastotilaa.

Vanhalla rakennuksella on suuri sähkö- ja lämpöenergian kulutus. Myös käyttömukavuutta voi olla mahdollista parantaa ääriolosuhteissa. Rakennuksen ilmanvaihtoa pyritään parantamaan käytönmukaiseksi ja rakennus varustetaan lämmöntalteenottojärjestelmällä. Hankkeesta tehdään kustannus- ja takaisinmaksulaskelmat.

Kiinteistön omistajan ja sijoittajien näkökulmasta on tärkeää selvittää investointien kannattavuus. Ilmanvaihdolla säästetty energia on suuressa kiinteistössä merkittävä, sillä ilmanvaihdon energiakustannukset ovat noin kolmanneksen kokonaisenergian kulutuksesta. Rakennuksen arvomuutos investointien myötä houkuttelee sijoittajia ja nostaa myyntihetkellä kiinteistön arvoa. Liiketilojen houkuttelevuuteen vaikuttaa sijainnin yms. tekijöiden lisäksi sisäilmasto-olosuhteet. Hyvä sisäilmasto houkuttelee yrityksiä ja asiakkaita. Hyvät olosuhteet parantavat tilan käyttäjän viihtyvyyttä, joka vaikuttaa omalla tavallaan kiinteistön tuottoon. Viihtyvyydessä on hyvä huomioida myös remontin aiheuttama haitta.

2 TOIMIVA ILMANVAIHTO

2.1 Sisäilmasto

Hyvä sisäilmasto on ihmisille tärkeää. Liikerakennuksessa hyvä sisäilmasto parantaa työntekijöiden oloja ja asiakkaiden viihtyvyyttä. Sisäilmastolla tarkoitetaan tilaan vaikuttavien kemiallisten, fysikaalisten yms. olosuhteiden kokonaisuutta. Tärkeimmät tekijät ovat lämpöolosuhteisiin vaikuttavat lämpötila ja veto sekä ilman laatutekijät, kuten kosteus, pöly ja biologiset epäpuhtaudet. Huonolla sisäilmastolla on vaikutuksia ihmisten viihtyvyyteen, terveyteen ja työtehoon. Haitallisten sisäilmastotekijöiden vaikutus on monimutkainen ilmiö. Vaikutukset riippuvat monesta tekijästä: ihmisen terveydentilasta, iästä, herkistymisestä, altistusajasta ja muusta kuormituksesta. Raja-arvoja hyvälle sisäilmastolle on vaikea asettaa, koska ihmiset kokevat olosuhteet eri lailla. Samat olosuhteet eivät aina aiheuta samanlaista reagointia. Myös terveydelliset vaikutukset vaihtelevat. (Seppänen & Seppänen 2010, 10–11.)

Sisäilmaston vaikutukset näkyvät tavallisimmin ihon, limakalvojen, ja hengitysteiden kautta. Tavoiteltavana voidaan pitää tilannetta, jossa sisäilmaston eri tekijät vaikuttavat myönteisesti tilassa olevien ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen. Lämpötilan poikkeamat ihanteellisista arvoista aiheuttavat ensin epävihtyvyyttä, joka lisääntyy poikkeaman kasvaessa. Jatkuva ja pitkäaikainen epävihtyvyys voi aiheuttaa myös terveydellistä haittaa pitkällä aikavälillä. Epävihtyvyyden tunteen aiheuttaja on yleensä helposti aistittavissa, kuten haju tai veto. Terveydelle haitallisten epäpuhtauksien aiheuttamat oireet alkavat ennen kun koetaan epävihtyvyyttä. Radonin kaltaisia ilman epäpuhtauksia ei voida aistein havaita, vaikka pitoisuudet voivat olla korkeita. (Seppänen & Seppänen 2010, 11–12.)

2.2 Vaatimukset sisäilmastolta

Sisäilmasto on tyydyttävä, kun terveydellistä vaaraa ei ole ja huomattava enemmistö pitää olosuhteita viihtyisanä. Rakennusmääräyskokoelman osassa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto (2012) on esitetty sisäilmastolle asetetut vaatimukset

ja sisäilmastoluokitukset. Raja-arvot on tarkoitettu saavutettaviksi oleskeluvyöhykkeellä, eli alueella jolla ihmiset pääosin ovat.

Sisäilmaluokituksen epäpuhtauspitoisuuden raja-arvot yleensä alittuvat, jos ilmanvaihto on asetusten mukainen eikä tilassa ole erityisiä epäpuhtauslähteitä. Sisäilman epäpuhtauksien mittaaminen on tarpeellista vain erityistapauksissa. Epäpuhtauksien raja-arvojen alittuminen ei kuitenkaan takaa tilan terveellisyyttä täydellisesti, koska herkäät ihmiset voivat saada oireita pienemmistäkin pitoisuuksista. Ilman mikrobipitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti ajan, paikan, olosuhteiden ja mikrobilajiin mukaan. Sisäilman tulee kuitenkin olla ulkoilmaa puhtaampaa. Jos näin ei ole se on merkki homevauriosta. (Seppänen & Seppänen 2010, 25–28.)

Lähtökohtaisesti asetetut vaatimukset tulee täyttää ulkoisesta ja sisäisestä kuormituksesta, säästä ym. riippumatta. Tämä ei ole aina taloudellisesti mahdollista tai järkevää. LVI-laitteiden ja koko rakennuksen suunnittelun sekä rakentamisen tulisi lähteä siitä, ettei raja-arvoista jouduta poikkeamaan. Korjausrakentaminen on huomattavasti haasteellisempaa useiden tekijöiden takia. (Seppänen & Seppänen 2010, 13.)

2.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihdon tarkoitus on tuoda tilaan puhdasta ilmaa ja poistaa likaista. Ilmanvaihto poistaa ilman epäpuhtaudet ja on tärkeä ilmanlaadun ylläpidossa. Ilmanvaihdon suuruus määräytyy tilassa syntyvien epäpuhtauksien mukaan. Hyvän ilmanvaihdon tulisi olla vedoton, meluton ja helposti säädettävä. Ilmavirtojen mitoittavia tekijöitä ovat ilman laatu, jäähdytys, lämmitys, kostutus ja kuivaus. Ilmanvaihdon tarpeeseen vaikuttavat kriteerit ovat ilman happipitoisuus, terveellisyys, turvallisuus ja hajuttomuus. Ilman happipitoisuus ei muodostu ilmanvaihdon suuruuden määrittäväksi tekijäksi, koska aineenvaihdunnan hapentarve on niin pieni. Hapen loppumisen tunne aiheutuu yleensä suuren ihmisjoukon aiheuttamista muista epäpuhtauksista ja tilan lämpötilan noususta. Hiilidioksidipitoisuuden nousu vaikeuttaa hengitystä ja hapen saantia korkeina pitoisuuksina. Haitallisten aineiden pitoisuuksista käytetään yleensä yksikköä ppm (Parts per million), eli miljoonasosaa. Haitallista

5000 ppm:n pitoisuutta ei yleensä koskaan ylitetä. Yleensä hyvän ilman hiilidioksidipitoisuuden tulee olla alle 1000 ppm. Ilmanvaihdon tarpeen määrittämiseksi hiilidioksidipitoisuus on happipitoisuutta paljon parempi. Ihmisten aineenvaihdunta ja ihon bakteerien aineenvaihdunta tuottaa ilmaan orgaanisia yhdistettä, jotka ovat epämiellyttävän hajuisia ja korkeina pitoisuuksina haitallisia. Aineenvaihdunta tuottaa samalla hiilidioksidia, joka indikoi ihmisten vaikutusta sisäilmaan. (Seppänen & Seppänen 2010, 160–164.)

Sisäänpuhalluslämpötila riippuu ulkolämpötilasta, lämmöntalteenotosta, ilmanvaihdon lämmityspatterin toiminnasta ja tuloilman lämpötilan noususta puhaltimessa. Oletuksena voidaan pitää + 18 °C, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavissa. (D5. 2013, 23.)

Järjestelmän ilmamäärät on laskettu kaavalla.

$$q \left[\frac{m^3}{s} \right] = k \times \sqrt{p [Pa]} \quad (1)$$

missä

q = ilmamäärä

k = k-arvo

p = paine-ero.

Jos käyttölämpötila on muu kuin +20 °C, käytetään kaavaa

$$q = \sqrt{p_{20}/p_{op}} \times k \times \sqrt{p} \quad (2)$$

missä

p_{op} = Ilman tiheys käyttölämpötilassa

p_{20} = 1,20 kg/m³ (Koja 2015.)

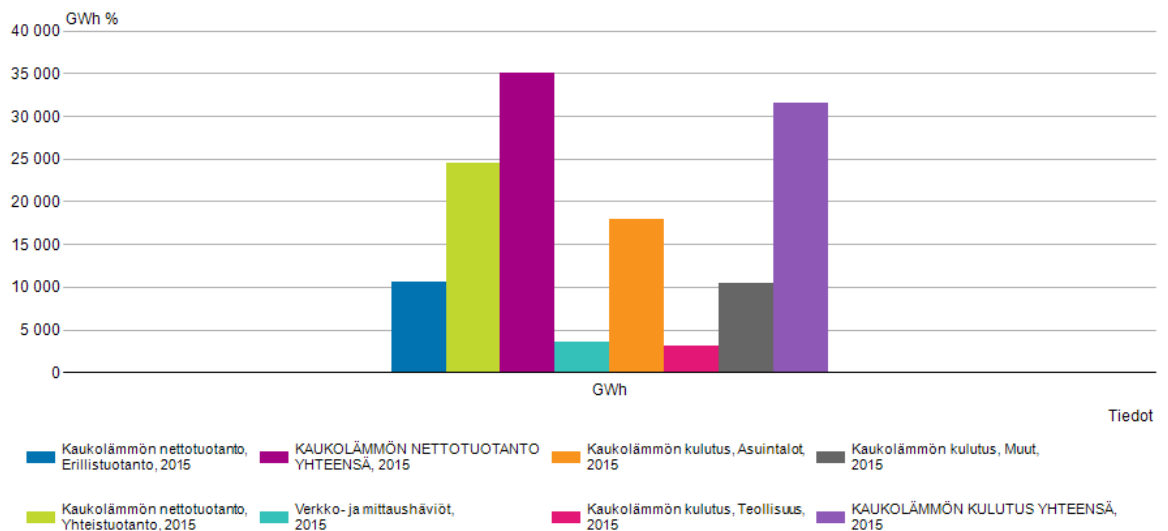
Tekniikan kaavastossa ja fysiikassa yleisesti käytetty ilman tiheys on 1,293 kg/m³ (NTP). Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ja monissa laitevalmistajien ohjeissa käytetään ilman tiheyttä 1,20 kg/m³, joka vastaa ilman tiheyttä noin + 20 °C lämpötilassa. Myös ilman ominaislämpökapasiteetista 1010 J/(K kg) käytetään arvoa 1000 J/(K kg).

3 RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUS

3.1 Rakennuksen kokonaisenergiatehokkuus

Energiatehokkaat rakennukset ovat nykypäivää. Energiatehokas rakennus on ympäristöystävällinen ja tuo säästöä kiinteistön omistajalle sekä käyttäjille. Kuvio 1 havainnollistaa lämmitysenergian kulutusta. Säästöpotentiaali liikerakennuksilla on, lämmössä 20 %, sähkössä 6 %, vedessä 6 % ja kustannuksissa 11 % (Motiva 2015).

Kaukolämmön tuotanto ja kulutus muuttujina Kaukolämpö, Vuosi ja Tiedot



Lähde: Energiateollisuus ry /Kaukolämpö (aik. Suomen Kaukolämpö ry), Suomen Kuntaliitto ja Tilastokeskus

Kuvio 1. Kaukolämmön tuotanto ja kulutus (Tilastokeskus 2017).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 Rakennusten energiatehokkuus (2012) esitetään rakentamisessa sovellettaviksi määräykset ja ohjeet rakennusten energiatehokkuudesta. Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan määräyksissä esitetyillä ulkoilman säätiedoilla, sisäilmasto-olosuhteiden, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvoilla.

Tyypillisen liikerakennuksen lämpöhäviöiden jakauma:

- ilmastointi 55 %
- vaippa 44 %
- viemäri 1 %. (Seppänen & Seppänen 2010, 60.)

Lämmitysenergian lähteet:

- lämmitys 60 %
- sähkönkäyttö 30 %
- aurinko ja ihmiset 10 %. (Seppänen & Seppänen 2010, 60.)

Energiatehokkuudelle on määritelty vähimmäisvaatimukset, kun kyse on rakennuksen luvanvaraisesta korjaamisesta, käyttötarkoituksen muuttamisesta tai teknisten järjestelmien uusimisesta. Tällaisia ovat esimerkiksi laajat peruskorjaukset, rakennuksen ulkovaipan korjaukset ja teknisten järjestelmien uusiminen, jolloin tarvitaan yleisimmin rakennus- tai toimenpidelupaa. Korjausrakentamiseen ryhtyminen säilyy edelleenkin vapaaehtoisena, ja kiinteistön omistaja päättää, milloin ja missä laajuudessa hän ryhtyy korjaamaan ja mitkä ovat parhaat keinot parantaa energiatehokkuutta säädösten puitteissa. Energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä ei tarvitse toteuttaa, mikäli ne eivät ole teknisesti, toiminnallisesti tai taloudellisesti mahdollisia. Tärkeää on myös huomioida rakennuksen ominaispiirteet ja käyttötarkoitus. Energiatehokkuutta kannattaa parantaa osana normaalia korjausrakentamista ja suunnitelmallista kiinteistön kunnossapitoa. (Ympäristöministeriö 27.2.2013.)

Energiatehokkuuden parantamiseen on kolme vaihtoehtoista tapaa. Ensimmäisenä vaihtoehtona on parantaa korjattavien tai uusittavien rakennusosien lämmönpitävyyttä vaatimusten mukaisiin arvoihin. Toisena vaihtoehtona on parantaa energiatehokkuutta kyseiselle rakennustyyppille määritellylle tasolle. Tällöin tarkastellaan koko rakennuksen vuosittaista, normaalikäytössä syntyvää laskennallista energiankulutusta suhteessa rakennuksen pinta-alaan. Kolmantena vaihtoehtona on laskea rakennukselle ominainen, rakentamisajankohdan mukaisilla tai viimeisimmän käyttötarkoituksen muutoksen mukaisilla ratkaisilla laskettu kokonaisenergian kulutus eli E-luku ja pienentää sitä kyseiselle rakennustyyppille asetetun tason mukaisesti. Teknisille järjestelmille on määritelty omat vaatimukset. On tärkeää varmistaa, että rakennuksen tekniset järjestelmät, kuten lämmitys ja ilmanvaihto, toimivat ja niiden perussäädöt tarkistetaan aina, kun rakennukseen lisätään eristeitä tai sen ilmanpitävyyttä parannetaan tai järjestelmiä uudistetaan. Tämä on erittäin tärkeää hyvän sisäilman ja asumismukavuuden kannalta. Määräykset mahdollistavat joustavasti erilaisten teknisten kysymysten, kuten kosteusasioiden ja mobiililaitteiden kuuluvuuden huomioon ottamisen suunnittelussa. (Ympäristöministeriö 27.2.2013.)

Energiatehokkuusmääräykset ovat osa EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa ja edistävät samalla Suomen omia tavoitteita energiatehokkuuden parantamiseksi. Korjausrakentamisella on ratkaiseva merkitys Suomen energiakulutukseen, sillä rakennuksissa kuluu nykyään 40 % energian kokonaiskulutuksesta. (Ympäristöministeriö 27.2.2013.)

Lämmitysenergian nettotarve koostuu useasta tekijästä. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeeseen lasketaan johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämpöhäviöt sekä korvaus- ja tuloilman lämpeneminen tilassa. Lämmitysenergia nettotarvetta vähentää auringon ja sisäisten lämpökuormien vaikutus. Ilmanvaihdon lämmityksen nettoenergiatarve lasketaan lämmöntalteenoton kanssa ja se muodostuu tuloilman lämmityksestä lämmöntalteenoton jälkeen. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereidan lämmitysenergian nettotarve lasketaan tuloilman lämpötilan, lämmön talteenotolaitteen tuloilman lämpötilasuhteen ja jäätyminen eston lämpötilan perusteella. Rakennukseen tulevan aurinkoenergian laskennassa otetaan huomioon rakennuksessa olevat auringonsuojauksratkaisut, kuten rakenteelliset ratkaisut, markiisit, sälekaihtimet ja niiden ohjaukset sekä ympäröivien rakennusten ja kasvillisuuden varjostukset. (D5. 2012.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään ilmanvaihdon energiatarpeeseen. Lämmitystehon ja energiankulutuksen laskennassa käytettävät säätiedot löytyvät rakentamismääräyskokoelman osan D3, liitteestä 2.

3.2 Tulo- ja korvausilman lämmitysenergian tarve

Ilmanvaihdon energiatehokkuus varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarkoituksenmukaisilla keinoilla tinkimättä terveellisestä, turvallisesta ja viihtyisästä sisäilmastosta. Energialaskennassa käytettävät ohjeelliset asetusarvot ja käyttöajan ilmanvaihtomäärät liikerakennukselle: ulkoilmavirta $2 \text{ dm}^3 / (\text{s m}^2)$, lämmitysraja 18°C , jäähdytysraja 25°C , ulkoilmavirta käyttöajan ulkopuolella $0,15 \text{ dm}^3 / (\text{s m}^2)$. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetuissa tiloissa käytetään kokonaisenergiankulutuksen laskennassa ilmamäärien suunnitteluarvoja ja taulukon mukaisia käyttö-

aikoja. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa ilmanvaihtoa voidaan ohjata esimerkiksi lämpötilan, hiilidioksidipitoisuuden tai kosteuden mukaan. (D3. 2012, 15–18.)

Liikerakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat ovat: kellonaika 08:00–21:00, käyttöaika 13 h/24h 6 d/7 d, käyttöaste 1, valaistus 19 W /m², kuluttajalaitteet 1 W /m², ihmiset 2 W /m². (D3. 2012, 19–20.)

Lämmitysenergian nettotarve lasketaan järjestelmästä, jossa käytetään vakioilmavirtaa ja ilmankäsittelyprosessi koostuu vain ilman lämmityksestä. Jos ilmankäsittelyprosessiin sisältyy jäähdytystä ja kostutusta tai ilmavaihtojärjestelmä on ilmamääräsäätöinen, on energiantarve laskettava muulla menetelmällä. Ilmanvaihtokoneessa tapahtuva tuloilman lämmittäminen lasketaan erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle. Koneellisen poiston ja painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmissä ilmanvaihdon lämmittäminen tapahtuu tilassa, jolloin se lasketaan mukaan korvausilmana. (D5. 2012, 20.)

Vuosihyötysuhdetta η_a voidaan käyttää kaikkina kuukausina, jos ilmanvaihto on toteutettu sellaisella lämmöntalteenotolla, joka ei siirrä poistoilmasta talteen otettua lämpöä tuloilmaan. Lämmöntalteenoton puuttuessa käytetään ulkolämpötilaa lämmöntalteenoton jälkeisenä lämpönä. Laskennassa kesä-, heinä- ja elokuussa lämmöntalteenotto ja ilmanvaihdon jälkilämmitys ovat pois käytöstä. Näinä kuukausina tuloilman lämpötila saattaa poiketa asetusarvosta. Lämmityspatterissa tapahtuva ilman lämpeneminen lasketaan sisäänpuhalluslämpötilaan asti. Kanavistossa tapahtuvaa lämpenemistä ei oteta laskentamenetelmässä huomioon. Suurissa ilmanvaihtokoneissa tapahtuvaan ilman lämpenemiseen voidaan oletuksena käyttää arvoa 0,5 °C. Lämpötilasuhteena voidaan käyttää lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittamaa varmennettua hyötysuhdetta. Ellei sitä ole käytettävissä, käytetään taulukon 1 arvoja. (D5. 2012, 21–22.)

Taulukko 1. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen lämpötilasuhteen arvoja (D5. 2012, 21–22).

Lämmönsiirrintyyppi	Lämpötilasuhte η_t
Nestekiertoinen lämmönsiirrin	0,40
Ristivirtalevylämmönsiirrin	0,50
Vastavirtalevylämmönsiirrin	0,60
Regeneratiivinen lämmönsiirrin	0,65

Ilmanvaihdon ilmavirtana ja käyttöaikoina käytetään kohteesta saatuja tietoja sekä Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitettyjä arvoja (D5. 2012, 21–22.)

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 kappaleissa 3.4 – 3.5 käsitellään ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, tulo- ja korvausilman lämmitysenergian tarve ja ilmanvaihdosta talteen otettu energia.

Seuraavissa kaavoissa käytetyt vakiot ja lyhenteet:

t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s
$q_{v,korv}$	korvausilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
T_s	sisälämpötila, °C

T_u	ulkoilman lämpötila, °C
T_j	jäteilman lämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
$Q_{iv,tuloilma}$	tuloilman lämpenemisen energian tarve tilassa, kWh
$Q_{iv,korv.ilma}$	korvausilman lämmitysenergian, kWh
Q_{lto}	ilmanvaihdosta talteen otettu energia, kWh

Lämmitysenergian nettotarve

$$Q_{iv} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t}{1000} \quad (3)$$

Tuloilman lämpeneminen tilassa

$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t}{1000} \quad (4)$$

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla

$$Q_{iv,korv.ilma} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,korv} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (5)$$

Korvausilmavirta

$$q_{v,korv} = \sum t_d t_v q_{v,poisto} - \sum t_d t_v q_{v,tulo} \quad (6)$$

Jos tuloilmavirta on suurempi tai yhtä suuri kuin poistoilmavirtaa, korvausilmavirtaa ei ole. Koneellisissa poistoilmavaihtojärjestelmissä ja painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä kaikki tuloilma tulee tilaan korvausilmana. (D5. 2012, 21–22.)

Ilmanvaihdosta talteen otettu energia

$$Q_{lto} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{lto} - T_u) \Delta t}{1000} \quad (7)$$

Poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia voidaan esittää myös tuloilman lämmitys-energiana. (Ympäristöministeriö 2003.)

$$Q_{lto} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_j) \Delta t}{1000} \quad (8)$$

3.3 Sähköenergiankulutus ja SFP

Ilmanvaihtokoneen sähkönkulutukseen kannattaa myös kiinnittää huomiota, sillä laitteiden välillä on suuria eroja. Nykyaikaisessa ilmanvaihtokoneessa on taajuusmuuttaja, joilla koneen tehoa voidaan rajoittaa. Puhaltimien käyntiajalla voidaan myös vaikuttaa sähkön kulutukseen. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (SFP – Specific Fan Power) kertoo, miten paljon ilmanvaihtokoneen puhaltimet tarvitsevat sähköä ilman siirtämiseen. Ominaissähkötehoon voidaan vaikuttaa paitsi laitevalinnoilla, myös hyvällä ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelulla. (Energiatehokas koti 5.2.2016.)

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholla (kW/(m³/s)) tarkoitetaan rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien, mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus sisältää puhaltimien moottorien sähköenergiankulutuksen lisäksi lämmöntalteenoton mahdollisten pumppujen ja moottorien sekä taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sähköenergiankulutuksen.

Rakennustiedon kortiston LVI 30-10529 (2013) kortissa käsitellään ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa ja sen laskentaa.

$$SFP = (P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}) / q_{max} \quad (9)$$

missä

SFP	ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
P _{tulo}	tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW
P _{poisto}	poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

$P_{\text{apulaitteet}}$	taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottorien ottama sähköteho
q_{max}	mitoitettava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m ³ /s.

Puhallinsähkön laskenta ilmanvaihdon puhaltimien sähköverkosta ottama sähköteho saadaan yleisesti laitevalmistajien mitoitusohjelmista.

$$P_{\text{sähkö}} = \frac{P_{\text{puhallin}}}{\eta_{\text{käyttö}} \eta_{\text{moottori}} \eta_{\text{säätö}} \times 1000} \quad (10)$$

missä

P_{puhallin}	puhaltimen akseliteho sisältäen laakerihäviöt, kW
$\eta_{\text{käyttö}}$	voimansiirron hyötysuhde
η_{moottori}	moottorin hyötysuhde
$\eta_{\text{säätö}}$	mahdollisen pyörimisnopeussäätimen hyötysuhde (esimerkiksi taajuusmuuttaja).

3.4 Ilmanvaihtojärjestelmän muuntaminen energiataloudellisemmaksi

Rakennuskannassa yleiset koneellisen poiston järjestelmät on rakennettu pääosin 1950–1990-luvulla. Tyypillistä koneelliselle poistolle on, että se puhalttaa valtaosan lämmitysenergiasta taivaalle eikä ota lämpöenergiaa millään tavoin talteen. Koneellisen poistojärjestelmän energiatehokkuutta voidaan parantaa merkittävästi asentamalla järjestelmään lämmöntalteenotto. Lämmöntalteenotto voidaan toteuttaa eri keinoin. Valtion rahoittamassa KIMU-projektissa tutkittiin ilmanvaihdon parannusvaihtoehtoja ja niiden kannattavuutta sekä vaikutusta sisäilman laatuun. Projektissa simuloitiin 1950–60-luvulla rakennettuja kiinteistöjä. Projektissa saatiin selville, että kaikilla ratkaisuilla saadaan säästöä lämmitysenergiassa. Tehokkain keino energiatehokkuuden parantamiseen oli ilmanvaihdon uusiminen hajautetuksi koneelliseksi tulopoistoilmajärjestelmäksi. Kannattavin ajankohta oli ajoittaa ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen putkisaneerauksen yhteyteen. Ilmanvaihtoratkaisuilla päästiin yleensä S2 sisäilmaluokkaan. (Korkala & Laksola 2012, 207–210.)

Uusiessa puhallin ja lämpöpumppu katolle poistoilman lämpöenergia otetaan talteen lämpöpumpulla, jolloin vältetään uusien kanavistojen rakentamiselta. Talteen

otetulla lämmöllä voidaan lämmittää kiinteistön keskuslämmitysjärjestelmää ja lämmintä käyttövettä. Lämpöpumppu rakennetaan poistoilmakoneeseen, joka on yleensä vesikatolla tai ullakolla. Alkuperäisen järjestelmän useat poistokoneet tai huippuimurit, jotka kuluttavat paljon energiaa korvataan uusilla energiatehokkaammilla moottoreilla sekä taajuusmuuntajilla. Uuteen puhaltimeen voidaan kanavoida vanhoja ilmanvaihtokanavia. (Korkala & Laksola 2012, 2011–212.)

Glykolipatterilla ja suodattimella varustettu yhteiskanavapuhallin ja huoneistokohtainen tuloilmakone korvaavat vanhat, paljon sähköenergiaa kuluttavat kanavapuhaltimet ja huippuimurit. Tiloihin asennetaan tilakohtaiset tuloilmakoneet. Poistoilmakanaviston muutoksilta vältetään. Glykolipatteri ottaa talteen vuositasolla noin 40 prosenttia poistoilman lämmöstä, jonka se siirtää tuloilman lämmityspattereille. Kovi- pakkasilla järjestelmä on riittämätön ja lisälämpöä pattereille on tuotettava esim. kaukolämmöllä. (Korkala & Laksola 2012, 212.)

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää muuttaessa keskitetyksi tulopoistoilmanvaihtojärjestelmäksi, ilmanvaihto muutetaan energia vaatimuksiltaan ja sisäilmastoluokaltaan (S2) täysin nykymääräykset täyttäväksi. Keskitetyssä järjestelmässä rakennetaan tuloilmalle ja mahdollisesti poistoilmalle kokonaan uusi kanavisto. Uusi ilmanvaihtokone sisältää tulo- ja poistoilmapuhaltimet sekä lämmöntalteenoton, lisäksi järjestelmässä suodattimet tulo- ja poistopuolella, lämmityspatteri sekä mahdollisesti jäähdytys. Keskitetyn järjestelmän vuosihyötysuhde on noin 50–70 prosenttia. (Korkala & Laksola 2012, 13.)

Hajautetussa koneellisessa tulopoistoilmanvaihtojärjestelmässä rakennuksen tiloihin asennetaan omat tulopoistokoneet, jotka palvelevat kyseistä tilaa. Ilmanvaihtokoneissa on lämmöntalteenotto ja yleensä sähköpatteri ilman lisälämmitykseen. Hajautetussa tulopoistojärjestelmässä joudutaan rakentamaan kaikki kanavat uudelleen ja miettimään jäte- ja raitisilman reitit konekohtaisesti. Hajautetussa järjestelmässä voidaan tilakohtaisesti muuttaa ilmanvaihtokoneen säätöjä. Vuosihyötysuhteeltaan järjestelmät ovat noin 50–70 prosenttia. Järjestelmällä saavutetaan hyvä sisäilman laatu ja suuri energian säästö. (Korkala & Laksola 2012, 2013–214.)

3.5 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenottolaitteella voidaan ottaa poistoilman sisältämää lämpöenergiaa uudelleen käyttöön ja hyödyntää se yleensä tuloilman lämmitykseen. Lämmöntalteenottolaitteen tehokkuutta mitataan lämpötilasuhteella, joka on laitteen standardisoidussa testauksessa mitattu lukuarvo. Tuloilman lämpenemisen ja poistoilman jäähtymisen suhde. Vuosihyötysuhde on koko rakennukselle laskettava arvo. Se ei ole laitteen ominaisuus, eikä eri laitetyypeillä eri rakennuksissa aikaansaatuja vuosihyötysuhteiden arvoja näin ollen tule verrata keskenään, kuten ei myöskään yhden laitteen lämpötilasuhdetta jollakin toisella laitteella varustetun rakennuksen LTO-vuosihyötysuhteeseen. Eri laitetyypeillä saavutettuja vuosihyötysuhteita voidaan verrata sertifikaattien avulla tai laskemalla. (Korkala & Laksola 2012, 87–89.)

Tarkasteltavia kohteita LTO-järjestelmissä ovat

- lämpötilasuhte (laskettava arvo)
- neste ja ilmapuolen lämpötilat
- liuosmäärä/paine
- liuoksen laatu ja pakkasenkestävyys
- kiertopumppu
- paisuntalaitteet (mittaus, varoventtiili)
- putkisto varusteineen
- automatiikka
- poistoilman suodatus (paine-ero)
- patterit
- kondenssivesiputkisto
- hälytykset (jäähtymisen esto, paine, lämpötila) lämpömittarit
- voimansiirto ja laakerit
- tiivisteet
- kenno.

Patterijärjestelmässä tulo ja poistopuolelle asennetut patterit on yhdistetty putkistolla, jossa pumppu kierrättää jäätymätöntä liuosta, yleensä glykolia. Tuloilmapatterilta tuleva viileä liuos lämpenee poistoilmapatterilla samalla jäähdyttäen poistoilmaa. Tämän jälkeen liuos virtaa tuloilmapatterille luovuttaen siellä lämpöä kylmään

tuloilmaan. Kolmitiesäätöventtiili rajoittaa tarvittaessa hyötysuhdetta (jäätymisen estäminen). Lämpötilasuhde on 40–60 %. Poistoilma yleensä suodatetaan ennen patteria. (Korkala & Laksola 2012, 90–91.)

Patterityyppejä on erilaisia. Lamellipatteri on yleinen ratkaisu, jolla on monia käyttötarkoituksia jäähdytyksessä, lauhdutuksessa, lämmityksessä, lämmöntalteenotossa sekä kosteudenpoistossa. Pattereiden materiaalina käytetään kuparia, alumiinia ja terästä. (Ekocoil Patterit 16.10.2017.)

Patterilla varustettuja LTO-yksiköitä löytyy usealta valmistajalta esimerkkinä Fläktwoodsien STEL, poistoilmanvaihtojärjestelmiin tarkoitettu liuoskiertoinen lämmöntalteenottoyksikkö. Tuote soveltuu käytettäväksi laitoksissa, joissa hajautettu tulo ja poisto sijaitsevat kaukana toisistaan. Lämmöntalteenottoyksikkö ja huippuimuri muodostavat yhdessä toiminnallisen kokonaisuuden. Yksikkö sijoitetaan puhaltimen imupuolelle, joten ilman ulospuhallussuunta on ylöspäin. Poistoilmasta lamellipatterilla talteen otettu lämpöenergia siirretään joko tuloilmaan, käyttöveteen tai muuhun soveltuvaan kohteeseen kojeessa kiertävän vesi/glykoliseoksen välityksellä. STEL on varustettu lamellipatterin alapuolelle sijoitetulla suodattimella, jonka tarkoitus on suojata patteria likaantumiselta. Jos talteen otetun lämpöenergian käyttökohteena on tuloilma, yksikön liuospiiri kytketään tuloilmakoneen LTO-patteriin. (Fläktwoods 2004.)

Neulalämmönsiirrin on valmistettu alumiininauhasta ja kupari- tai alumiiniputkesta. Neulalämmönsiirtimen lämmönsiirtopintana toimii neulaputki, joka on samalla korkeasuodatin. Siirtimessä on hyvä huurteen sieto, se ei vaadi suodatusta ja voidaan puhdistaa painepesurilla. Retermian pakettiratkaisussa neula-LTO soveltuu saneerauskohteisiin. Neulalämmönsiirrin on helposti asennettavissa katolle, joko huippuimurin ympärille tai LTO-katokseksi. Vanhat huippuimurit voidaan hyödyntää ja muuttaa LTO -huippuimureiksi. Neulapatterin alhaisen ilmapuolen painehäviön ansiosta vanhojen puhaltimien teho riittää saman ilmavirtauksen säilyttämiseen. (Retermia 2007.)

Harjalämmönsiirrinelementti koostuu lukuisista kupari- tai alumiinilangoista, jotka on kierretty kahden tai useamman putken väliin. Elementillä on hyvä huurteen sieto, ei

vaadi suodatusta ja voidaan puhdistaa painepesurilla. Esimerkiksi Hydrocellin harjalämmönsiirrin voidaan asentaa suoraan kanavaan tai kanavan osaksi. Se on asennettavissa ahtaisiinkin tulo- tai poistoilmakammioihin. Harjalämmönsiirrin voidaan asentaa ilmanvaihtokoneen välionsaan. LTO-patteri asennetaan huippuimurin yhteyteen rakennettavaan erilliseen huippuimurikatokseen. (Hydrocell 2017.)

Pyörivässä talteenottockennojärjestelmässä tulo- ja poistoilmavirrat johdetaan vierekkäin ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto-osaan ja siihen on asennettu pyörivä ympyränmuotoinen, yleensä alumiininen kennosto. Poistoilma virtaa tiheään kennoston läpi lämmittäen sen. Kennosto sitoo myös kosteutta. Kennon pyöriessä lämminnyt alue siirtyy tuloilmapuolelle lämmittäen ja luovuttaen kosteuden tuloilmavirtaan. Laitteessa tapahtuu pientä vuotoa ja ilmavirtojen sekoittumista joka rajoittaa käyttökohteita. Tästä syystä pyörivä kenno ei sovellu käytettäväksi likaiseen poistoilmaan. Automatiikka rajoittaa pyörimisnopeuden estäen liiallisen lämpenemisen tai huurtumisen. Pyörivän talteenottockennon lämpötilasuhde on 70–80 %. Poistoilma vaatii suodatuksen. Laitteella saavutetaan hyvä hyötysuhde, mutta laite vaatii uuden tulo-poistokoneen eikä vanhoja huippuimureita yms. voida hyödyntää. (Korkala & Laksola 2012, 91.)

Levylämmönsiirrin on alumiinilevystä valmistettu pakka, jossa joka toisessa levyvälissä virtaa tuloilma ja joka toisessa poistoilma. Lämpö siirtyy levyjen läpi ilmavirrasta toiseen. Laitteen hyötysuhdetta rajoitetaan säätöpellillä. Vastavirta tyyppisessä lämmönsiirtimessä lämpötilasuhde on 70–85 % ja ristivirtatyyppisessä 50–65 %. Levylämmönsiirrin on yleinen tilakohtaisissa pakettikoneissa. (Korkala & Laksola 2012, 92–94.)

Lämmöntalteenottoa säädetään yleensä siten, ettei sisäänpuhalluslämpötila ylitä haluttua asetusarvoa. Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhdetta määrittäessä on sen ilmavirtasuhde otettava laskennassa huomioon. Lämmöntalteenottolaitteen jäätyminen esto otetaan huomioon rajoittamalla jäteilman lämpötilaa (tehonsäätö). Jäätyminen eston jäteilman minimilämpötilana voidaan käyttää levylämmönsiirtimille 0 °C ja pyöriville lämmönsiirtimille –5 °C, jos laitteesta ei ole olemassa varmennettuja suoritusarvoja. (D5. 2012, 22.)

Lämmöntalteenoton läpi kulkevan tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhdetta (RLTO) tulee tarkastella. Tuloilman lämpötilahyötysuhteen ja poistoilman lämpötilahyötysuhteen yhteys saadaan lämpötaseen perusteella asettamalla poistoilmasta otettu lämpöteho samaksi kuin tuloilmaan siirtyvä lämpöteho. (Ympäristöministeriö 2003. 13.)

$$R_{LTO} = \frac{q_{tulo}}{q_{poisto}} \quad (11)$$

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen kykyä ottaa poistoilmasta lämpöä talteen kuvataan tuloilman lämpötilahyötysuhteella ja poistoilman lämpötilahyötysuhteella. Jos poistoilman lämmöntalteenotto toteutetaan erillisenä, esimerkiksi nestekiertoisena järjestelmänä, laskenta suositellaan tehtäväksi selvyyden vuoksi poistoilman lämpötilahyötysuhteen avulla. Tällaisessa järjestelmässä ei aina ole löydettävissä selviä poisto- ja tuloilmavirtapareja. Pääsääntöisesti lämmöntalteenoton laskelmissa käytetään valmistajan ilmoittamaa lämpötilahyötysuhdetta. (Ympäristöministeriö 2003. 14.)

$$\eta_{tulo} = \frac{(t_{tuloLTO} - t_{jäte})}{(t_{sisä} - t_{ulko})} \quad (12)$$

$$\eta_{poisto} = \frac{(t_{sisä} - t_{jäte})}{(t_{sisä} - t_{ulko})} \quad (13)$$

missä

η = lämpötilasuhde

t = lämpötila

Rakennuksen poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhteella ei tarkoiteta yksittäistä ilmanvaihto konetta, vaan rakennuksen talteenottolaitteistolla hyödynnettävä lämpömäärän suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään. Vuotoilman lämmitykseen tarvittavaa lämpömäärää ei huomioida vuosihyötysuhteen laskennassa. Lämpötila vaikuttaa ilman tiheyteen ja tarkemmassa laskennassa huomioidaan ilman tiheyksien erot. (Sandberg 2014, 450–451.)

3.6 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) on toimiva ratkaisu kaukolämmön rinnalle. Poistoilmalämpöpumpun asennuksen yhteydessä suositellaan lämmönjakokeskuksen uusimista. Poistoilmapuhaltimen tilalle asennetaan lämmöntalteenottoyksikkö, jossa oleva lämmönsiirrin kerää lämmön kiinteistön poistoilmasta ja siirtää sen lämmönkeruunesteeseen. Lämmennyt keruuneste johdetaan kiinteistön teknisessä tilassa sijaitsevalle lämpöpumpulle. Rakennuksen poistoilmasta saatu lämpö hyödynnetään lämpöpumpun avulla käyttöveden tai lämmönjakoverkostossa kiertävän veden lämmityksessä. Poistoilman lämmöntalteenotto soveltuu kerrostaloihin sekä toimisto-, liike- ja teollisuuskiinteistöihin, joissa ei vielä ole lämmöntalteenottoa asennettuna. Kiinteistössä täytyy lisäksi olla koneellinen tai painovoimainen ilmanpoisto sekä vesikiertoinen lämmönjako. Poistoilman lämmöntalteenotolla voidaan täydentää jo olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää. (Gebwell 2017.)

3.7 Automatiikka

Lämmityksen säädön tavoitteena on pitää tilan lämpötila halutussa arvossa, ulkoisista ja sisäisistä kuormienvaihteluista huolimatta. Liiketilojen käyttö on osittain ajoittain. Niiden lämpötilaa voidaan säädellä ajastuksella käytön mukaan sekä lämpötila rajoilla ja näin ollen säästää energiaa. Massiivisessa rakennuksessa on huomioitava sen rakenteiden hitaat lämpötilanmuutokset. Kun lämmitysteho ja säätöautomatiikka on oikein viritetty, saadaan kiinteistössä pidettyä hyvät olosuhteet. (Harju 2004, 13–21.)

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa lämmennyt vesi-glykoliseos kiertää säätöventtiilin kautta. Kiertopiiri on suljettu ja seoksen lisäystarvetta on seurattava. Jos puhallin ei käy lämmöntalteenoton säätöventtiili ja raitisilmapellit ovat kiinni. Lämmityspatterin paluuveden lämpötila pidetään + 25 °C:ssa, tällä varmistetaan puhaltimen käynnistymishetkellä riittävä lämmön saanti ja estetään säädön huojuminen. Kun puhallin käy, pellit ovat auki ja lämpötilaa säädetään lämmöntalteenoton jälkeisen kanava-anturin mukaan. Jos lämpötila laskee asetusarvon alapuolelle, säätöventtiili ja jollei sen antama teho riitä, avautuu lämmityspatterin säätöventtiili. (Harju 2004, 67.)

4 INVESTOINTIPROJEKTI

Investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida useilla laskentamenetelmillä. Yritykset tekevät monenlaisia investointeja elinaikanaan. Tehtyjä investointipäätöksiä ei yleensä voi perua myöhemmin. Investointien suunnittelu kuuluu yrityksen pitkän tähtäimen suunnitteluun. Strategiaan sopivien investointiprojektien ensimmäisessä vaiheessa mietitään eri investointivaihtoehtoja ja konkretisoidaan ne investointiehdotuksiksi. Eri vaihtoehtojen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät, kustannukset ja tuotot otetaan huomioon vertaillen tietoja. Tietojen pohjalta laaditaan laskelmia eri investointivaihtoehtoista ja vertaillaan vaihtoehtojen kannattavuutta. Investointiin vaikuttaa myös harkinnanvaraiset tekijät, esm. ympäristö. Valitulle vaihtoehdolle suunnitellaan rahoitus ja tehdään investointipäätös. Kun investointi toteutetaan konkreettisesti, toteutuksen vaiheita valvotaan. Investoinnin toteutuneita kassavirtoja verrattaessa suunnitelmiin, nähdään mahdolliset ongelmat ja korjaus toimenpiteet voidaan suunnitella. Seuranta on tärkeää organisaation kannalta, huolellisen analysoinnin kautta osataan jatkossa suunnitella paremmin. (Jormakka ym. 2012, 225–226.)

4.1 Nykyarvomenetelmä

Nettonykyarvomenetelmää (NPV) pidetään teoreettisesti suositeltuna investointilaskentamenetelmänä. Kaikki investoinnin kustannukset ja tuotot diskontataan samaan ajankohtaan, joka on yleensä investoinnin toteutushetki. (Jormakka ym. 2012, 230.)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t} + \frac{I_n}{(1+r)^n} - I_0 \quad (14)$$

missä

NPV	nettonykyarvo
NCF	nettokassavirta
I_0	alkuinvestointi
I_n	investoinnin jäännösarvo
n	investoinnin pitoaika vuosina

t	aika
r	diskonttauskorko

4.2 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmä on vastakkainen nettonykyarvomenetelmälle. Kustannukset jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi vuosieriksi. Investointi on kannattava, jos nettotuotot ovat vähintään yhtä suuret kuin vuotuiset annuiteetit. (Tenhunen 2013.)

$$\text{Annuiteettikerroin} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (15)$$

missä

i	laskentakorkokanta / tuottovaatimus
n	pitoaika

4.3 Sisäisen korkokannanmenetelmä

Sisäinen korkokanta kertoo investoinnin kannattavuuden prosenttilukuna, jota on helppo verrata yrityksen käyttämään laskentakorkoon tai lainan korkoon. Sisäinen korkokanta voidaan laskea nettonykyarvon kaavalla asettamalla nettonykyarvovoitteen nolla. (Jormakka ym. 2012, 230.)

$$\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+IRR)^t} + \frac{I_n}{(1+IRR)^n} - I_0 = 0 \quad (16)$$

missä

IRR	sisäinen korkokanta
NCF	nettokassavirta
I_0	alkuinvestointi
I_n	investoinnin jäännösarvo
n	investoinnin pitoaika vuosina
t	aika

4.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on yksinkertainen menetelmä. Takaisinmaksuajan menetelmässä selvitetään, kuinka pian investointi on maksanut itsensä takaisin. Yksinkertaisimmillaan korkoa ei huomioida ja takaisinmaksuaika voi olla taloudellista pitoaikaa lyhempi. Heikkoutena menetelmä ei ota huomioon rahan aika-arvoa ja korkoa. (Jormakka ym. 2012, 230.)

$$Takaisinmaksuaika = \frac{Alkuinvestointi}{Vuotuinen\ tuotto} \quad (17)$$

5 ESIMERKKIKOHTTEEN TARKASTELU

5.1 Yleisesti kohteesta

Opinnäytetyön kohteena on kauppakeskus Seinäjoella. Rakennuksen alkuperäinen osa on yli 70 vuotta vanha. Rakennukseen on tehty useita laajennuksia ja korjauksia eri aikakausina. Korjaustoimenpiteiden dokumentointi on ollut osittain puutteellista. Rakennuksessa on tekniikkaa useilta eri vuosikymmeniltä. Kaikki järjestelmät toimivat omalla automatiikallaan. Automaatiosta ei tule kootusti tilatietoja yms. Viimeaikaisimmassa ilmanvaihdon saneerauksessa vuonna 2016 useat pienemmät liike- ja sosiaalityilat on varustettu tilakohtaisilla tulopoistokoneilla ja lämmöntalteenotolla. Vanhimman osan alueella sijaitsevat liiketilat ja ravintolat on varustettu uudenaikaisilla tulopoistokoneilla ja lämmöntalteenotolla. Toisella puolella sijaitsevalla ruoka-kaupalla on omat järjestelmänsä. Tässä työssä keskitetään ilmanvaihtotekniikaltaan vanhimpiin alueisiin. Tilat lämpiävät osittain tuloilmalla. Poistoilma puhalletaan huippuimureilla suoraan taivaalle ja ne ovat käsikäyttöisiä 2-nopeuksisia puhaltimia. Kyseisillä alueilla on kesällä kuumuutta ja talvella viileyttä. Huippuimurit ovat tehokkaita tuloilmamäärään nähden ja vetävät IV- saneeratun alueen ravintolasta hajuja liiketiloihin. Kohde on liitettyä Seinäjoen energian kaukolämpöverkkoon. Liitteen 1 mukaan vuonna 2016 kohteen kaukolämmön energiankulutus oli 1037 MWh ja normitettu kulutus 1185 MWh

Seinäjoen energian energiamaksut 1.1.2016 alkaen: Seinäjoen kaukolämpöverkossa veroton hinta 45,16 €/MWh, verollinen hinta 56,00 €/MWh (Seinäjoen energia 2016.)

Rakennuksessa tarkastelun kohteena olevat tilat:

- 0.01, 280 m², kellari varastoaja, lämmönjakohuone ja sähkökeskus, oma tuloilmakone TK-2 vanha, huippuimuri HI-9.
- 1.01, 807 m², liiketila, tuloilmakone TK-1 vanha 261 l/s, huippuimuri HI-2 1145 l/s
- 1.05, 515 m², liiketila, tuloilmakone TK-1 vanha 129 l/s, huippuimuri HI-1 1249 l/s

- 2.02, 355 m², liiketila (toimisto ja varasto), tuloilmakone TK-1 vanha 134 l/s, huippuimuri HI-8.

Laitteet vaikuttavat osittain myös käytävään. Tiloissa on tehty muutoksia tuloilma-kanavistoon ja se on osittain uutta.

Tarkasteluhetkellä 13.11.2017 klo 14:40 tilojen lämpötilat ja suhteelliset kosteudet:

- | | | |
|----------------------------|---------|---------|
| – Pienliiketila käytävällä | 20,5 °C | RH 32 % |
| – Tila 1.01 | 22,4 °C | RH 53 % |
| – Tila 1.05 | 21,5 °C | RH 30 % |

Liiketilän 1.05 toiminta aiheuttaa huomattavasti tekstiilipölyä, mikä pitää huomioida nuohouksissa ja poistoilman suodatuksessa, mikäli lämmöntalteenotto asennetaan kyseiseen tilaan. Liiketilassa on ilmalämpöpumppu sekä lämmitin. Tilasta on kulkuyhteydet ulos sekä pääkäytävälle. Tilassa on suuret ikkunat kaakko-etelä-suuntaan. Kyseiset ikkunat pinnoitettiin auringonsuojakalvolla vuonna 2017 auringon säteilystä johtuvan lämpökuorman pienentämiseksi.

Liiketilassa 1.01 on useita split-tyyppisiä jäähdyttimiä, ja tilan tuloilmakoneeseen yhdistettyä lämpötila-anturia ei pystytty paikantamaan puutteellisen dokumentoinnin vuoksi. Lämpötilatietoja tutkimalla todettiin, että anturi ei anna todellista tietoa tilasta, jäähdyttimet mahdollisesti vääristävät lämpötilatietoa ja tuloilmakone pyrkii ajamaan kesälläkin lämmintä ilmaa tilaan. Tilan takanurkkaan on asennettu poistoilmapuhallin lämpökuorman poistoon.

Opinnäytetyössä laskettuja sekä toteutuneita tuloksia ja kustannuksia verrataan samassa kaupungissa sijaitsevaan kauppakeskuksen saneeraukseen, jossa vanhat huippuimureille tulevat kanavat johdettiin katolla eristettynä uuteen katolle asennettuun poistoilmakoneeseen. Poistoilmakoneesta lämpöenergia siirrettiin glykolilla uusituille vakioilmavirtakoneille vanhaan konehuoneeseen. Ratkaisulla saatiin erittäin hyvät sisäilmaolosuhteet ja tarkasteluhetkellä (kevät) noin 45 %:n LTO-hyötysuhde.

5.2 Ilmanvaihdon kartoittaminen

Osana opinnäytetyötä kartoitettiin tämänhetkinen ilmanvaihdon tilanne. Uudet ilmanvaihtopiirustukset luotiin käyttämällä vanhoja piirustuksia sekä paikan päällä tutkimalla. Lopputuloksena saatiin kokonaiskuva rakennuksen kanavistosta, useista IV-koneista ja huippuimureista. Kiinteistön hoidon ja hallinnon tarpeisiin kuvien lukemisen helpottamiseksi kukin järjestelmä on omalla värillään. Lisäksi kuvissa on tiedot ilmanvaihtoon liittyvistä laitteista ja niiden sijainnista.

Ilmanvaihdon konehuone sijaitsee 2. kerroksessa, konehuone kuvassa 1. Katolla on vanha konehuone, jossa on tilaa mahdolliselle uudelle ilmanvaihtokoneelle. Huippuimureiden tiedot liitteessä 3.



Kuva 1. Ilmanvaihdon konehuone.

Tuloilmakone TK-1 vanha sijaitsee 2. kerroksessa. Se palvelee ensimmäistä ja toista kerrosta. Koneen käyntiajat on esitetty taulukossa 2. Ilmanvaihtokoneessa on suodatin, lämmityspatteri, puhallin sekä Oumanin automatiikka. Lämpötila-anturit on tulevalle ja lähtevälle ilmalle ja lämmityksen tulo- ja paluuveden lämpötilan mittaukselle. Järjestelmän tuloilmakoneessa on kaukolämpöön kytketty lämmityspatterit. Lämpötilat tarkasteluhetkellä (kesäkuu), poisto 15,6 °C tulo 18,9 °C.

Taulukko 2. TK-1 vanha käyntiajat.

Teho	Aika	Päivä(t)
1/1	7:30	ma-pe
1/1	12:00	la-su
1/1	17:00	la-su
1/2	18:00	ma-pe

TK-2 vanha sijaitsee 2. kerroksessa. Se palvelee kellarikerrosta. Koneen käyntiajat on esitetty taulukossa 3. Ilmanvaihtokoneessa on suodatin, lämmityspatteri, puhallin sekä Oumanin automatiikka. Lämpötila-anturit on tulevalle ja lähtevälle ilmalle, lämmityksen tulo- ja paluuveden lämpötilan mittaukselle. Lämpötilat tarkasteluhetkellä (kesäkuu), poisto 20,7 °C tulo 15,6 °C.

Taulukko 3. TK-2 vanha käyntiajat.

Teho	Aika	Päivä(t)
1/1	6:00	ma-su
1/2	18:00	la
1/2	22:00	ma-su

Tuloilmakoneen TK-1 tuloilman lämmittämiseen on määritetty nettoenergiantarve, jotta talteen otettua energiamäärää voidaan verrata ilmanvaihdon kokonaisenergian tarpeeseen. Nettoenergiantarpeella tarkoitetaan lämpöenergiamäärää, jolla ulkoilma saadaan lämmitettyä sisäänpuhallusilman asetettuun lämpötila-arvoon. Tuloilman lämmittämisen nettoenergiantarve on määritetty joka kuukaudelle erikseen keskimääräisten ulkoilman lämpötilojen perusteella käyttöajat huomioiden. Tulo- ja huoneilman välinen lämpötilaero lisää lämmitysenergian tarvetta, vertailussa sitä ei huomioida. Poisto- ja tuloilman suhde sekä korvausilman lämpenemisen tarve huomioidaan laskelmissa. TK-1 lämmitysenergian nettotarpeeksi laskettiin RakMk:n osan D5/2007 (kaava 3) mukaan 52 MWh.

Huippuimureiden aiheuttama korvausilman lämpenemisen energian tarpeeksi laskettiin (kaavat 5 ja 6)

HI-1	109 MWh
HI-2	139 MWh
HI-8	57 MWh
(HI-9	76 MWh kellarin poisto)
Yhteensä 305 MWh (381 MWh)	

Liiketiloiden huippuimureiden yhteenlaskettu sähköteho on noin 2,2 kW tämä tuottaa vuodessa 19 MWh sähköenergiankulutuksen. Laskennallisesti liiketiloiden vuotuinen ilmanvaihdon ja korvausilman lämmitysenergian tarve on noin 360 MWh.

5.3 Välittömät muutokset

Ilmanvaihdon toimivuuden ja tehokkuuden parantamiseksi nykyisillä laitteilla kannattaa käyntiajat ja lämpötilarajat tarkastaa ja säätää, jotta ilmanvaihto olisi tarpeenmukaisempi. Käyttö- ja käyntiaikaehdotukset on esitetty taulukossa 4. Liiketiloihin 1.01 kannattaa asentaa sisälämpötilan mittaus sellaiseen paikkaan, ettei ulkoilmavirta tai splittien jäähdyttävä vaikutus vääristä todellista lämpötilaa. Oumanin säätimellä on mahdollista käyttää yötuuletusta, joka viilentää tilaa kesällä. Tarpeenmukaisuutta saadaan lisää asettamalla liiketilaan hiilidioksidianturi.

Huippuimurit kannattaa liittää Oumanin säätimeen, jolloin myös huippuimureille saadaan käyntiajat ja tarpeenmukaiset tehot lämpötila- ja kello-ohjatusti. Taulukossa 4 esitetään käyttöajat ja käyntiaikamuutokset ja huippuimureiden aiheuttaman korvausilman lämpenemisen tarve, joka on laskettu kaavalla 5 ja 6.

Taulukko 4. Käyttö- ja käyntiaika.

Tila 1.01 ja 2.02		1.05			
Liikkeen aukiolo		Liikkeen aukiolo			
09–19	ma–pe	9:30–18	ma–pe		
10–17	la	9:30–15	la		
12–16	su	Suljettu	su		
TK-1 vanha			HI-2		
Teho	Aika	Päivä(t)	Teho	Aika	Päivä(t)
1/1	8:00	ma–pe	1/1	8:00	ma–pe
1/2	20:00	ma–pe	1/2	20:00	ma–pe
1/1	8:30	la	1/1	8:30	la
1/2	18:00	la	1/2	18:00	la
1/1	11:00	su	1/1	11:00	su
1/2	17:00	su	1/2	17:00	su
HI-1			HI-8		
Teho	Aika	Päivä(t)	Teho	Aika	Päivä(t)
1/1	8:30	ma–pe	1/1	8:00	ma–pe
1/2	19:00	ma–pe	1/2	20:00	ma–pe
1/1	8:30	la	1/1	8:30	la
1/2	16:00	la	1/2	18:00	la
1/1		su	1/1	11:00	su
1/2	0:00	su	1/2	17:00	su
Huippuimuri	Ennen (MWh)	Jälkeen (MWh)			
HI-1	109	80			
HI-2	139	101			
HI-8	57	42			
HI-9, kk	76	55			
Yhteensä	381	278			

Talvella pienempi nopeus pakkasten noustessa vähentää energiankulutusta huomattavasti. Kesällä ulkoilman ollessa sisälämpötilaa pienempi voidaan huippuimureilla poistaa lämpökuormaa. Liittäessä huippuimureita säätimeen voidaan mahdollisesti hyödyntää olemassa olevia paloilmoitusjärjestelmän väyliä. Uusittaessa huippuimureita kannattaa ne vaihtaa taajuusmuuntajilla varustettuihin malleihin säädettävyyden lisäämiseksi. Ilmanvaihdon on hyvä olla päällä ennen ja jälkeen varsinaisen käyttöajan noin tunnin tilojen tuuletuksen kannalta. Käyttöaikakerroin taulukon 4 tiedoilla on 0,73. Huippuimureiden korvausilman lämmittämisen tarve laskee 381 megawattitunnista 280 megawattituntiin. Laskennallisesti käyntiaikamuutosten ja huippuimureiden liittämällä automaatioon saavutetaan noin 30 %:n vuotuiset säästöt pienillä kustannuksilla. Säästöä tuo myös se, että yleensä käyttöaikaan päivällä koneiden ollessa suuremmalla teholla ulkoilma on lämpimämpää kuin yöllä.

5.4 Ehdotetut ratkaisut lämmön talteenottoon

Kyseisen kiinteistön tietojen perusteella tehtiin tarjouspyyntöjä erityyppisille ratkaisulle. Tarjouspyynnöissä kysyttiin laitevalmistajien ehdotuksia lämmöntalteenoton toteuttamiseen sekä kustannusarviota. Tarjoukseen liitettiin kuva olemassa olevasta hajautetusta järjestelmästä sekä puhaltimien ja muiden laitteiden tiedot. Tarjouksissa kysyttiin LTO:n hyötysuhdetta ja muita tietoja lämmön talteenoton energiasäästöjen ja investoinnin kannattavuuden arvioinniksi. Tarjouksia tuli tavoiteltua vähemmän.

LTO-laitevalmistajat ilmoittavat LTO:n hyötysuhteen standardin SFS-EN 308:n mukaan määritellystä tuloilman lämpötilasuhteesta. Lämpötilahyötysuhde määritetään ulkolämpötilan ja poistoilman lämmönalenen suhteesta kuivilla ja yhtä suurilla ilmavirroilla. SFS-EN 308:n mukaan määriteltyä lämpötilahyötysuhdetta käytetään LTO:n lämpötilasuhteen laskennan perustana. Lämpötilasuhde, jota käytetään LTO:n vuosihyötysuhteen määrittämisessä, tulee puolestaan määritellä todellisilla ilmavirroilla. Standardin lisäksi energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista on säädetty EU direktiivi 2009/125/EY.

Huippuimuri-LTO laitevalmistajan ehdotus mahdolliseen tapaan järjestelmän uusintaan on se, että asennetaan neljään huippuimuriin lämmöntalteenottopatterit (HIP)

ja esilämmityspatteri tuloilmakoneeseen. HI-7 on niin pieni, ettei sinne kannata asentaa kyseistä laitteistoa. Suurin huippuimurikatos on mitoitus-teholtaan 1,25 m³/s ja teholtan 26,8 kW. Näiden neljän poistoilmayksikön LTO:n teho on tällöin noin 139,5 kW ja sama esilämmityspatterille. Poistojen yhteenlaskettu summa on 3,8 m³/s, tällöin koko järjestelmän EN308 mukainen hyötysuhde on noin 65 %. Lopullisessa hinnassa voi olla noin 10 000 € heittoa riippuen siitä, mitä asiakas haluaa tarkemmin. Tarjous ei sisällä putkitöitä. Tarkemmat tiedot liitteessä 4. Patterikohtaiset kustannukset ilmamäärien mukaan ovat

Esilämmityspatteri	22 500 €
0,6 HIP	10 800 €
0,8 HIP	11 700 €
1,15 HIP	13 500 €
1,25 HIP	14 200 €
Yhteensä	72 700 €.

Ilmanvaihtokoneiden valmistaja ehdotti ratkaisuksi IV-koneparia (3 m³/s). Nykyisiltä huippuimureilta kanavoidaan ilma uudelle tulopoistoilmakoneelle, jossa on pyörivä lämmöntalteenotto hyötysuhteeltaan 80 % (2009/125/EY mukaisesti). Kustannusarvio kanavatöistä riippuen uusine konehuoneineen koneparille on luokkaa 150 000 €, ALV 0 %.

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmalla saadaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, jossa on huomioitu rakennuksen sijainti ja järjestelmän ilmavirrat sekä jäätyminen esto. Tasauslaskelma tehdään lämmityskaudelle ja siinä käytetään ulkoilman lämpötilojen pysyvyystietoja. Kullekin lämpötilalle lasketaan lämmöntarveluku, minkä jälkeen luvut lasketaan yhteen ja niistä voidaan laskea tulo ja poistopuolen vuosihyötysuhteet. LTO-vuosihyötysuhteen laskentaan käytetään ympäristöministeriön vuoden 2018 LTO-laskinta, tasauslaskentaoppaan mukaan. Vertailussa käytetään ilmanvaihtokoneiden (η_a, ivkone) hyötysuhteita. Hajautetun huippuimuri-LTO järjestelmän vuosihyötysuhde on noin 57 % jäätyminen estosta riippuen. Kaikki ehdotetut patterit asentamalla voidaan lämmittää tehokkaasti 3 m³/s tuloilmavirtaa. Nykyiselle tuloilmakoneen ilmamäärälle (0,524 m³/s) suurimman poiston patteri riittää myös

kellarin tuloilman lämmittämiseen (TK2). Uuden koneparin LTO-vuosihyötysuh-
teeksi saatiin 66 % yleisellä jäätymisrajalla 5 °C ja 78 % jäätymisrajan ollessa – 5
°C laitekuvauksen mukaan.

Lämmön talteenottolaitteen tuottama energiansäästö lasketaan ilman lämpötila-
erolla ennen ja jälkeen LTO-patterin (kaava 12) ja kuukausien keskilämpötiloille
käyttöaikojen mukaiset tehot huomioiden (kaava 7). Näiden laskemiseen käytettiin
Excel-ohjelmaa. Lähtöarvoina käytettiin

vuosihyötysuhde	(%)	
tuloilmavirta	(m ³ /s)	
poistoilmavirta	(m ³ /s)	
käyttöaika kerroin		0,73
sisälämpötila	(°C)	21
sisäänpuhalluslämpötila	(°C)	18
jäätymisen suojaus	(°C)	-5...5
lämmitysenergian hinta	€/MWh	45,16
sähkön hinta	€/MWh	90
tuottotavoite	(%)	7
ilman tiheys	(kg/m ³)	31,2
ilman ominaislämpö	(kJ/kgK)	1000
päiviä vuodessa		365
ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvot try 2012 testivuosi		
Seinäjoen lämmitystarveluku		
kuukausien keskilämpötilat Seinäjoella.		

Taulukko 5. Energialaskelmat.

	LTO-HI	LTO-HI	Konepari
Energia (MWh)	3 m³/s	1 m³/s	3 m³/s
Q_{lto}	259	85	280
Q_{iv}	39	14	18
Q ilman LTO	298	99	298

Taulukon 5 tuloksista voidaan päätellä, että pyörivällä talteenottokennolla voidaan saavuttaa huomattavasti suuremmat säästöt glykoliin verrattuna, toisaalta myös kustannukset nousevat, asennusaika pitenee ja kanavien sekä IV-koneen sijoitus voi olla ongelmallista. Glykolijärjestelmiä verrattaessa vaihtoehdolla 2 saadaan sisäilmasto rakennusmääräysten vaatimustason mukaiseksi ja tilankäyttäjien mukavuus paranee. Myös muunneltavuus on parempaa, mikäli halutaan lisätä esimerkiksi tuloilman jäähdytys. Toisaalta uusi tulokone ja ilmamäärät saattavat vaatia muutoksia rakennuksen ilmanvaihtokanavistoon. Parempi lämmön talteenotto aiheuttaa suurempia painehäviöitä pattereilla.

Ilmanvaihdon energiantarpeet verrattuna lämmön talteenottolaitteella talteen otettuun energiamäärään. Tarjotuista vaihtoehdoista voidaan päätellä, että mikäli tulokone uusitaan vastaamaan poistoilmaa, LTO-huippuimuri ratkaisulla energian tarve on 22 MWh suurempi kuin uudella koneparilla.

Kellarin tuloilmakoneesta ei ole tarkkaa tietoa, mutta pintapuolisella tarkastelulla ja poistoilmamäärän perusteella se on pienempi kuin liiketilojen tuloilmakone. Yllä olevasta taulukosta 5 luettuna nykyisten tuloilmakoneiden 1. krs, 2. krs ja kellari vuotuinen tuloilman lämmitysenergian on noin 99 MWh. Tästä määrästä 85 MWh saadaan poistoilman lämmön talteenottolaitteella, jolloin lämmitysenergian tarpeeksi jää 14 MWh. Tulokoneet ottavat raitisilman samasta paikasta, joten patteri on loogista sijoittaa palvelemaan kumpaakin aluetta.

Lämmitysenergian nettotarpeeseen vaikuttaa myös puhaltimen sähkönkulutus, joka muuttuu osittain lämpöenergiaksi ja vähentää lämmitystarvetta. Ilmanvaihtokonevalmistajan laskelmien mukaan puhaltimen sähköenergian tarve on 25,8 MWh vuodessa, josta puhaltimen ilmaa lämmittävän vaikutuksen johdosta vähentää ilman lämmitysenergian tarvetta 11 MWh. Laskelmissa se on huomioitu RakMk:n osan D5/2007 mukaisella 0,5 °C lämpötilan nousulla puhaltimessa vertailun helpottamiseksi.

Energiansäästö rahallisesti lasketaan kertomalla energian määrä lämmitysenergian hinnalla, 45,16 € / MWh. Lasketut euromääräiset suuret on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Lämmityskustannukset.

Lämmitys energia	LTO-HI	LTO-HI	Konepari
(€)	3 m3/s	1 m3/s	3 m3/s
LTO säästö	11 696	3 839	12 645
lämmityspatteri	1 761	632	813
Yhteensä	13 458	4 471	13 458

Nykyisten tulokoneiden lämpöenergian kustannukset ovat 4 500 € vuodessa. Lisäämällä yhden huippuimuri-LTO:n lämmityskustannuksiksi jää 600 € vuodessa. Säästöä ratkaisulla tulee 3 900 € vuodessa nykyiseen tilanteeseen verrattuna.

Toiset ratkaisut vaativat uutta tuloilmakonetta tai nykyisten koneiden kunnostusta vastaamaan poistoilmavirtoja. LTO:n tuomat säästöt vähentävät rakennuksen sisätiloissa tapahtuvaa korvausilman lämmittämisen tarvetta, joka osittain saadaan katettua sähkölaitteiden yms. lämmittävällä vaikutuksella. Tiloissa on paljon sähkölaitteita ja energiaa kuluttava valaistus. LTO:n tuomat säästöt hajautetussa järjestelmässä ovat 11 700 € vuodessa ja uudella koneparilla 12 600 € vuodessa korvausilman lämmittämisen ja nykyisen ilmanvaihtokoneiden patterien lämmitysenergian kustannuksiin verrattaessa. Hajautetun LTO:n ratkaisussa poistoilmamäärä jää 0,8 m³/s suuremmaksi kuin tuloilma, tämän korvausilman tilassa tapahtuva lämpiäminen vastaa 2 500 € kustannuksia lämmitysenergiana. Koneparivaihtoehdossa kyseinen huippuimuri voidaan jättää ennalleen tai kanavoida poistoilmakoneeseen ja pienentää poistoilman määrää kolmeen kuutioon sekunnissa. Liitettäessä poistokoneeseen se vähentää korvausilmamäärää korvausilman lämpenemisen tarvetta ja lisää vuotuiset säästöt koneparilla 15 000 euroon.

Koneparivaihtoehdolle on ilmoitettu laitetoimittajan laskemat vuotuiset energiakustannukset. Lämmitysenergian hinta 50 € / MWh, sähkön hinta 90 € / MWh, TK1 / PK1 lämmitys 384 € / vuosi, jäähdytys 378 € / vuosi, puhallin 2 324 € / vuosi ja kustannukset yhteensä 3 086 € / vuosi. Hajautetulle järjestelmälle vastaavien laskeminen on haastavampaa, koska jokainen puhallin on erilainen ja eri-ikäinen ja ne saattavat vaihtua nykyaikaisempiin ilmanvaihdon parannustöitä tehdessä. Inves-

toinnin kannattavuutta laskettaessa on mietitty erityisesti lämmitysenergiassa säästettyä kustannusta. Lisäkustannuksia aiheuttaa pumppujen ja puhaltimien sähkönkulutus ja huoltokustannukset. Taulukoissa 7–9 esitetään kaavojen 14–16 mukaan lasketut investointien kannattavuudet. Laskelmissa laitteistojen jäännösarvojen oletetaan olevan 0 €. Vastaavan kokoisilla koneilla ei mahdollisesti ole kymmenen vuoden jälkeen niin suurta arvoa, että se vaikuttaisi merkittävästi tuloksiin.

Taulukko 7. Nykyisille tulokoneille ja yhdelle huippuimuri katokselle lasketut investoinnin kannattavuuden arviot.

Säästöt	3900	€/v
Investointikustannus	36700	€
Takaisimaksuaika	9,41	v
Laskentakorko	7 %	

Investointi	Kannattavuus 5 vuotta	Kannattavuus 10 vuotta	Kannattavuus 20 vuotta
Tulojen nykyarvo	15991	27392	41317
Nettonykyarvo	-20700	-9300	4600
Vuotuinen annuiteetti	8950	5230	3460
Sisäinen korkokanta	-18 %	1 %	9 %

Taulukko 8. Hajautetulle LTO-järjestelmälle ja uudelle tuloilmakoneelle (25000 €) lasketut investoinnin kannattavuuden arvot.

Säästöt	11700	€/v
Investointikustannus	100000	€
Takaisimaksuaika	8,6	v
Laskentakorko	7 %	

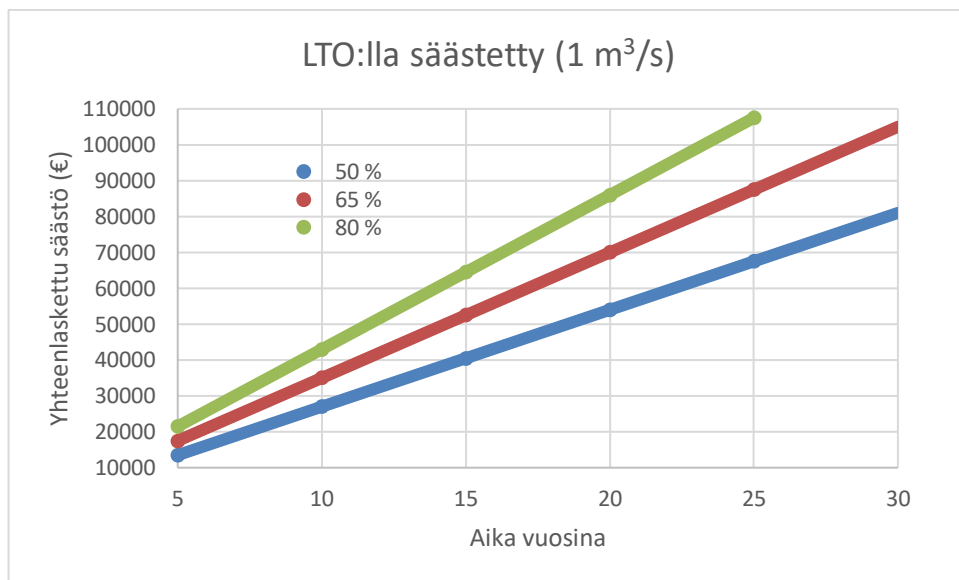
Investointi	Kannattavuus 5 vuotta	Kannattavuus 10 vuotta	Kannattavuus 20 vuotta
Tulojen nykyarvo	47972	82176	123950
Nettonykyarvo	-52000	-17800	24000
Vuotuinen annuiteetti	24389	14238	9439
Sisäinen korkokanta	-16 %	3 %	10 %

Taulukko 9. Uudelle koneparille lasketut investoinnin kannattavuuden arvot.

Säästöt	15000	€/v
Investointikustannus	150000	€
Takaisimaksuaika	10	v
Laskentakorko	7 %	

Investointi	Kannattavuus 5 vuotta	Kannattavuus 10 vuotta	Kannattavuus 20 vuotta
Tulojen nykyarvo	61503	105354	158910
Nettonykyarvo	-88500	-44600	8900
Vuotuinen annuiteetti	36584	21357	14159
Sisäinen korkokanta	-19 %	0 %	8 %

Laskelmista voidaan päätellä, ettei millään tarjotuista ratkaisulla päästä vielä kymmenessäkään vuodessa lähelle tavoiteltua 7 %:n tuottotavoitetta. LTO:lla säästetyllä kustannuksilla takaisinmaksuajat ovat kymmenen vuoden paikkeilla ja kannattava pitoaika minimissään lähempänä kahtakymmentä vuotta. Viiden vuoden pitoaika on riittämätön ja kannattamaton, ja jos harkitsee LTO:n lisäystä järjestelmään, se kannattaa vasta pitoajan ollessa yli 10 vuotta. Kyseisen kohteen elinkaari alkaa olla niin lopussa, ettei vaadittavaan investoinnin pitoaikaan päästä. Yritystulkin (2015) sivujen mukaan suuntaa-antava tuottovaatimus investoinnille on markkina-aseman turvaamiseksi 6 %.



Kuvio 2. LTO:lla kerrytetty säästö eri vuosihyötysuhteilla.

Suuntaa antavaan valintaan voidaan käyttää kuviota 2, jossa näkyy 1 m³/s IV-koneen LTO:n säästöjen suuruus pitoaikaan nähden. Pystyakselilla esitetään laitteen tuoma yhteenlaskettu säästö kullakin hyötysuhteella pitoajan funktiona. Laitteen kannattavuutta arvioitaessa arvioidaan pitoaika ja verrataan saatuja säästöjä laitteen investointikustannuksiin.

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) on kustannuksiltaan suuri ja vaatii pitkiä johtovetoja liittämiseksi lämmitysjärjestelmään. LTO-laitteiston lisäksi yksi 60 kW:n lämpöpumppu maksaa noin 17 000 €. Järjestelmän asentaminen vaatisi muutoksia myös

kellarikerroksessa sijaitsevaan lämmönjakokeskukseen. PILP pienentää merkittävästi ostoenergian tarvetta ja säästää esimerkiksi lämpimän käyttöveden kustannuksissa. PILP järjestelmän kustannuksia ja säästöjä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. PILP voi olla kannattava, mikäli rakennuksen elinkaarta on vielä runsaasti jäljellä.

5.5 Muut kustannukset

Nykyaikaisissa ilmanvaihtokoneissa eniten energiaa kuluttaa puhallin ja jäähdytys. Laitevalmistajan mukaan tulopoistokoneen puhaltimen sähköenergian kulutus on vuositasolla 26 MWh yhteenlasketun SFP-luvun ollessa 1,8 kW/(m³/s) ja sähkötehon ollessa 5,4 kW ilmamäärällä 3 m³/s. Vastaavan koneen jäähdytyksen energiankulutus vuodessa on 12,6 MWh. Näistä kertyy sähköenergian kustannuksia puhaltimelle 2 300 € ja jäähdytykselle 1 100 €. Jäähdytys on kyseisessä kohteessa toteutettu splitteillä, mutta kyselyiden mukaan kuumuus on yhä ongelma kesäisin. Opinnäytetyössä aikaisemmin esitettyjen parannusten, kuten yötuuletus, lisäksi tuloilmanjäähdytys parantaa käyttäjä mukavuutta, mutta ei ole välttämätön, mikäli nykyinen järjestelmä saadaan automaation muutoksilla toimimaan tarkoituksenmukaisesti.

Huippuimurillisessa LTO-järjestelmässä sähköenergiaa kuluu pumppaamiseen ja automatiikkaan. Huippuimurin LTO-vaihtoehdon laitevalmistajan ilmoittama vaadittava nestevira 1,2 dm³/s ja painehäviö pumpulle 240 kPa. Näiden lähtöarvojen mukaan pumpun vuotuiset energiakustannukset ovat noin 500 € vuodessa valitusta pumpusta riippuen (Grundfos pumpun mitoitusohjelma). Lämmönsiirtimet aiheuttavat painehäviötä 50–90 Pa, joka aiheuttaa lisää tehontarvetta puhaltimille ja täten lisää sähköenergian kulutusta nykyisestä. Ulkona oleva putkisto tai kanavisto aiheuttaa lämpöhäviöitä ja pienentää tuloilmapatterille tulevaa lämpöenergian määrää.

Koneiden ja kanaviston kunnossapidosta aiheutuu huoltokustannuksia. Vuosittain aiheutuvia huoltokustannuksia aiheuttavat suodattimien vaihdot. Muita kustannuksia aiheuttavat kanaviston ja IV-koneen puhdistus tai remminvaihdot. Suurempia huoltokustannuksia voidaan välttää ennakoivalla huollolla. IV-koneen vuosittaiset

huoltokustannukset, suodattimienvaihto huoltotöineen ovat arviolta 750 € vuodessa. Huippuimuri LTO-järjestelmän huoltokustannukset liittyvät lähinnä lämmönsiirtimien pesuun painepesurilla ja ovat arviolta 300 € vuodessa. Toisaalta vanhat huippuimurit ja niiden huoltotarpeet ovat arvaamattomia.

5.6 Vertailukohde

Tarkastellussa vertailukohteessa vanhat huippuimureille tulevat kanavat johdettiin katolla eristettynä uuteen katolle asennettuun poistoilmakoneeseen. Poistoilmakoneesta lämpöenergia siirrettiin glykolilla uusituille vakioilmavirtakoneille vanhaan konehuoneeseen. Tuloilmakoneen ilmamäärä on 3 m³/s ja poistoilmakoneen 3,2 m³/s sekä järjestelmän SFP-luku on 1,82. LTO-hyötysuhde koneajon mukaan 63,9 %. Lämmityskauden loppupuolella se oli automatiikan mukaan 45 % tuntumassa. Samalla menetelmällä kuin aiemmin laskettuna IV-koneen vuosihyötysuhde on 62 % ja LTO:lla talteen otettu energian määrä 237 MWh. Lämmityspatterin tarvitsema energian määrä on 61 MWh vuodessa. Tähän kohteeseen verrattuna opinnäytetyön kohteen energian säästöt konepariratkaisulla, jossa on pyörivä LTO, saadaan lähes 20 % enemmän energiaa talteen. Hajautetulla LTO-huippuimuri ratkaisulla saavutetaan suunnilleen sama tulos kuin erillisillä tulo- ja poistokoneilla, joissa on glykolipattereilla toteutettu lämmön talteenotto. Vertailukohteen energian kulutusraportista voidaan suuntaa antavasti päätellä, kuinka paljon lämmöntalteenotosta olisi hyötyä opinnäytetyön kohteessa.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia energian säästöinvestoinnin kannattavuutta ja ilmanvaihdon parantamisen ratkaisuja. Rakennusten energiansäästötoimenpiteillä pyritään taloudelliseen ja ympäristöystävälliseen kehitykseen. Korjausrakentamisen ollessa kovassa nousussa ja Suomen rakennuskannan suuren korjausvelan vuoksi on hyvä tutkia sijoittajille mieluisia tapoja kannustaa investointeihin energiansäästön, rakennusten kunnostamisen ja tilankäyttäjien viihtyvyyden lisäämiseksi. Opinnäytetyössä kartoitettiin ilmanvaihtojärjestelmä ja ehdotettiin siihen tehtäviä muutoksia. Ilmanvaihdon energiakustannukset ja LTO-laitteistolla saatavat säästöt laskettiin nykyisten rakennusmääräysten ja laitevalmistajien antamien tietojen perusteella.

Lämmöntalteenotolla saadaan energiasäästöjä aikaiseksi. Nykyisillä lämmitysenergian hinnoilla, lämmöntalteenoton tuomat säästöt ovat pieniä koko rakennuksen ylläpitokustannuksiin nähden. Investoinnit voivat olla yllättävän kalliita ja todelliset kustannukset ylittyä. Sijoittajan näkökulmasta katsottuna rahalle on saatava tuottoa, tämänkaltaisissa energiansäästötoimissa rahallinen hyöty ei ole kovinkaan suuri verrattuna muihin sijoituskohteisiin. Liiketilojen korjausrakentamisessa huomioitavia asioita on paljon ja rakennuksen sisäpuolella toteutettavat työt haittaavat tilojen käyttöä. Saaduista tuloksista voidaan todeta, ettei investointi kannata rakennuksen elinkaaren ollessa 10 vuotta. Pienten säästöjen lisäksi projektin valmistelut ja rakennustyöt vievät aikaa ja rahaa.

Energialaskelmista selvisi automaation ja ilmanvaihdon säätelyn tärkeys suuressa jaksoittaisessa käytössä olevassa rakennuksessa. Asuinrakennukseen nähden ilmanvaihdon tarve on huomattavasti vaihtelevampaa liikkeiden aukiolojen ja ihmismäärien takia. Automaatiolla ohjattavilla järjestelmillä saavutetaan vanhoihin käsikäyttöisiin nähden suunnilleen 100 MWh:n vuotuiset säästöt, joka on noin 4 500 € vuodessa. Lisäämällä LTO-laittesito nykyisiin tuloilmakoneisiin pienenee tuloilmakoneiden patterien vaatima lämmitysenergian määrä noin 80 MWh, riippuen kellarin koneen tehosta. Tämä tuo säästöä lähes 3 900 € vuodessa, mutta on yksin suhteellisen kallis investointi pitoaikaan nähden eikä tuo lisäarvoa rakennuksen käyttäjien viihtyvyyteen kuin lämmityksen lisätehona kovilla pakkasilla. Uusi tuloilmakone tuo

mukanaan paremmat sisäilmasto olosuhteet, ja mahdollistaa suurempien lämpö-
määrien hyödyntämisen huippuimureilta investointina ja töiltään se on huomatta-
vasti suurempi. Suuremman tuloilmavirran ratkaisuisa saatavat vuotuiset säästöt
ovat LTO-huippuimurille 260 MWh ja koneparin pyörivälle LTO-kielelle 280 MWh.
Vuotuisissa kustannuksissa säästöt ovat 11 700 € ja 15 000 €. Takaisinmaksuajat
ovat lähellä kymmentä vuotta ja sisäinen korkokanta kaikilla ratkaisulla 0–3 %:n
luokkaa 10 vuoden pitoajalla. Investoinnit ovat vaaditulla 7 %:n laskentakorolla kan-
nattavia vasta, kun pitoaika on lähelle 20 vuotta. Tutkituista ratkaisuisa kannattavin
on hajautettu LTO-järjestelmä sisäisen korkokannan ollessa 10 %, 20 vuoden pito-
ajalla ja 3 % kymmenellä vuodella. Kyseisen rakennuksen kohdalla voidaan todeta
että tutkittuihin ratkaisuihin ei kannata investoida toivotun tuoton saavuttamiseksi
rakennuksen elinkaaren ollessa loppuillaan. Laskelmista saatujen tulosten perus-
teella voidaan miettiä, kannattaako liikerakennukseen lisätä lämmön talteenotto. Li-
säksi on syytä pohtia, kuinka liikerakennuksen ilmanvaihtoa voidaan parantaa ja
mitä muuta energian säästämiseksi voidaan tehdä. Nykypäivänä automaatio mah-
dollistaa suurten kiinteistöjen lämpötilojen ja ilmanvaihdon tarkan hallinnan, tähän
tulisi kiinnittää huomiota rakennuksia kunnostettaessa.

Laitevalmistajien ja vastaavien tutkimusten tulosten perusteella takaisinmaksuajat
ovat kolmen ja kahdenkymmenen vuoden välillä. Takaisinmaksuajat riippuvat kus-
tannuksista, jotka koostuvat käytetystä laitteistosta ja kohteesta. Rakennusten ener-
gian säästöön ja omaan tuotantoon on nykyään useita ratkaisuja ja alalla on paljon
toimijoita. Tulevaisuudessa oma sähköntuotanto aurinkopaneeleilla ja PILP sekä
maalämpö ovat merkittävässä asemassa. Energia-asiat ovat pinnalla vanhojen jär-
jestelmien poistuessa ja uusien ympäristöystävällisempien ratkaisuiden kehittyessä.
Suomessa rakennusten energiaratkaisut ovat tärkeä osa yhteiskuntaa talouden,
ympäristön ja hyvinvoinnin turvaamiseksi.

LÄHTEET

- D2. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.11.2017]. Saatavana: <https://www.edilex.fi/rakentamis-maaraykset>
- D3. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.11.2017]. Saatavana: <https://www.edilex.fi/rakentamis-maaraykset>
- D5. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 15.11.2017]. Saatavana: <https://www.edilex.fi/rakentamis-maaraykset>
- Ekocoil. Ei päiväystä. Lamellipatterit [Verkkojulkaisu]. Turenki. [viitattu 16.10.2017]. Saatavana: <http://www.ekocoil.fi/patterit.html>
- Energiatehokas koti. 5.2.2016. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva. [Viitattu 16.11.2017]. Saatavana: Seppänen O. & Seppänen M. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 5. p. Espoo: SIY Sisäilmatieto. Saatavana: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto
- Fläktwoods. 2004. Lämmöntalteenottoyksikkö STEL. [Esite]. [Viitattu 16.10.2017]. Saatavana: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=2648b399-a4f2-4e50-a900-c6909906f25c>
- Gebwell. 2017. Poistoilman lämmöntalteenotto . [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.10.2017]. Saatavana: <https://www.gebwell.fi/gebwell-combi/poistoilman-lammontalteenotto/>
- Harju, P. 2004. Talotekniikan automaatio. 2. p. Kouvola: Penan Tieto-Opus.
- Hydrocell. 2017. LVI- Harjalämmönsiirrintekniikka. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.10.2017]. Saatavana: <http://www.hydrocell.fi/lammonsiirtimet/harjalaem-moensiirrintekniikka/>
- Jormakka, R., Koivusalo K., Lappalainen, J. & Niskanen, M. 2012. Laskentatoimi. 4. p. Helsinki: Edita.
- Koja. 2015. Huippuimuri-ohje. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 17.11.2017] Saatavana: http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/AKH_Hifek%20EC%2003-12%20FIN.pdf

- Korka, T. & Laksola, J. 2012. Ilmastointi hoito ja huolto. 5. p. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus.
- LVI 30-10529. 2013. Rakennustieto. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SPF. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.10.2017]. Helsinki: Rakennustieto.
- Motiva. 2015. Energiakatselmustoiminnan tilannekatsaus 2015. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.10.2017]. Saatavana: https://www.motiva.fi/files/12518/Energiakatselmustoiminnan_tilannekatsaus_2015.pdf
- Retermia. 2007. LVI-Suunnittelijalle. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.10.2017]. Saatavana: <http://www.retermia.fi/suunnittelijan-sivut/lvi-suunnittelijalle/>
- Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.
- Seinäjoen energia. 2016. Kaukolämpö hinnasto. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 17.11.2017] Saatavana: http://www.seinajoenenergia.fi/Kaukolampomaksut_ja_ehdot.
- Seppänen, O. & Seppänen, M. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmätieto.
- Tenhunen, ML. 20.8.2013. Johdon laskentatoimi eri laskentatilanteissa. [Verkkajulkaisu]. Helsinki. Suomen Taloushallintoliitto. [Viitattu 15.11.2017]. Saatavana: <https://tilisanomat.fi/content/johdon-laskentatoimi-eri-laskentatilanteissa>
- Tilastokeskus 2017. Kaukolämpö. [Verkkajulkaisu]. Helsinki. [Viitattu 15.11.2017]. Saatavana: http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2016/html/suom0003.htm
- Ympäristöministeriö. 27.2.2013. Energiatehokkuus huomioon luvanvaraisessa korjausrakentamisessa. Tiedote. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 8.11.2017]. Saatavana: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess%283871%29
- Ympäristöministeriö. 2003. Moniste 122 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Helsinki: Ympäristöministeriö. [viitattu 1.11.2017]. Saatavana: http://www.laskentapalvelut.fi/maaraykset/YM_opas_122.pdf
- Yritystulkki. 2015. Investoinnin kannattavuus. [Verkkajulkaisu]. Tampere. [Viitattu 15.12.2017]. Saatavana: <http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/seinajoki/toimiva-yrityja/investointi/>

LIITTEET

Liite 1. Kohteen energian kulutus vuosiraportti 3.11.2017

Liite 2. OuMan EH-105 ominaisuuksia

Liite 3. Huippuimurikartoitus 1.7.2017

Liite 4. Tarjousten yhteenveto

Liite 5. Ilmanvaihtopiirustukset (tilaajalle)

LIITE 1. Kohteen energian kulutus vuosiraportti 3.11.2017



	Sähkö [kWh]			Kaukolämpö [MWh]			Käyttövesi [m³]		
Kuukausi	2016	2017	Muutos [%]	2016	2017	Muutos [%]	2016	2017	Muutos [%]
Tammikuu	46 702	46 054	-1,4 %	200,20	133,89	-33,1 %	120,50	127,55	5,9 %
Helmikuu	40 187	41 557	3,4 %	124,62	128,13	2,8 %	125,36	127,69	1,9 %
Maaliskuu	39 097	42 992	10,0 %	118,81	112,45	-5,4 %	132,44	151,72	14,6 %
Huhtikuu	37 949	39 034	2,9 %	88,00	99,27	12,8 %	142,60	135,09	-5,3 %
Toukokuu	38 024	40 062	5,4 %	39,27	62,42	59,0 %	138,25	147,00	6,3 %
Kesäkuu	36 244	36 319	0,2 %	27,49	24,21	-11,9 %	145,14	140,47	-3,2 %
Heinäkuu	39 011	36 227	-7,1 %	18,77	15,75	-16,1 %	144,40	128,78	-10,8 %
Elokuu	40 918	37 444	-8,5 %	25,10	20,65	-17,7 %	139,35	145,60	4,5 %
Syyskuu	39 071	37 622	-3,7 %	41,21	45,12	9,5 %	136,57	138,03	1,1 %
Lokakuu	44 480	42 055	-5,5 %	97,07	91,34	-5,9 %	140,33	122,97	-12,4 %
Marraskuu	48 481	-	-	130,55	0,00	-	138,74	10,01	-
Joulukuu	45 674	-	-	125,97	-	-	130,34	-	-
Yhteensä	495 838	399 366	-0,6 %	1 037,05	733,22	-6,1 %	1 634,02	1 374,91	0,0 %

Selite

123

Lukematietoja puuttuu

123

Summarivin muutos on laskettu vertaamalla viime vuoden vastaavaan jaksoon

LIITE 2. OuMan EH-105 ominaisuuksia

OUMAN EH-105, älykäs ilmastoinninsäädin. Säätimessä on monipuoliset ominaisuudet. EH-105:n avulla voidaan toteuttaa tarpeenmukainen ilmanvaihto, joka huomioi ilmastoitavan tilan olosuhteiden muuttumisen (lämpötila, CO₂-pitoisuus, kanavapaine, kosteuden nousu). EH-105:ssä on normaalit viikko/vrk-kellotoiminnot sekä vuosikello, jonka avulla voidaan luoda vuosikalenteriin sidottuja IV-kojeen käynninohjauksia (esim. kesäloma-ajat, arkisunnuntait jne.). Mittaustietojen lukeminen, hälytysten vastaanottaminen ja kuittaus sekä aikaohjelmien ja asetusten käsittely voidaan hoitaa myös etäohjatusti GSM-puhelimella tai web-selaimella. Mahdollista liittää Modbus- tai LONprotokollaa käyttäviin valvomoratkaisuihin.

Säätimeen voidaan kytkeä yhteensä 18 samanaikaista mittaustietoa (6 NTCmittausta, 5 lähetinmittausta ja 7 digitaalista kosketintietoa).

Tavallisesti käytetään automaattiohjausta, jolloin ilmastointikoje käy säätimen kello-ohjelman mukaisesti. Säätimen kelloon asetettu aikaohjelma voidaan ohittaa muulla ohjaistavalla.

Ohjaustavat vahvuusjärjestyksessä:

- 1. IV-kojeen pysäytys "Hätä-SEIS" -kytkimellä tai säätimen käyntiohjauksen ollessa "Huolto SEIS" tai SEIS-käskyn tullessa väylältä sekä A-hälytyksen aiheuttama pysäytys.
- 2. B-hälytys, joka pysäyttää IV-kojeen.
- 3. Yölämmitys ja esilämmitys.
- 4. IV-tehonrajoitus ulkolämpötilan, LTO:n sulatuksen tai sarjasäädön määräämänä.
- 5. Ilmanvaihdon tehostus CO₂-pitoisuuden, huonelämpötilan tai huoneilman kosteuden mukaan.
- 6. Säätimeen kytketty 1/1, 1/2-kytkinohjaus (painonappi, ajastin) tai taajuusmuuttajan ohituskytkin
- 7. Kytkinohjaus "Auto" otettu käyttöön ja säätimeen kytketty kytkin ei ole A-asennossa. Säädin ohjaa IV-kojeen 0-teholle. IV-kojeen teho riippuu valintakytkimen asennosta
- 8. Säätimen käyntiohjaukset: jatkuva 0, 1/2 tai 1/1.
- 9. Säätimen käyntiohjaukset: ajastettu 0, 1/2 tai 1/1.
- 10. Poikkeuskalenterin kautta tehdyt käynnin pakko-ohjaukset 0, 1/2 tai 1/1.
- 11. Ilmanvaihdon tehostus CO₂-pitoisuuden, huonelämpötilan tai huonekosteuden perusteella.

- 12. IV-kojeen käynnistys CO₂-pitoisuuden mukaan, jos aikaohjaukset eivät ohjaa IV-kojetta käyntiin.
- 13. Yötuuletus, yöjäähdytys (voivat käynnistää IV-kojeen, jos aikaohjelmien mukaan koje ei käy)
- 14. Poikkeuskalenterin kautta tehdyt käynninohjaukset käyttäen päivän vaihtoa (Ma-SU tai Ep)
- 15. Aikaohjaus viikkokellon mukaan.

Sovelluksia:

- Huone- tai poisto-ohjattu IV-koje
- Huonelämpötilan asetusarvo
- Poistoilman lämpötilan asetusarvo (poisto-ohjattu IV-koje)
- Huonelämpötilan (poistoilman) asetusarvo ulkopuolisen lämpötilan muutoskytkimen ollessa sulkeutuneena.
- Tuloilman maksimilämpötilan asetusarvo.
- Tuloilman minimilämpötila lämmitysjakson aikana. Kesäaikana käytetään ”TuloMin-Jääh”-asetusarvoa.
- Huonelämpötila, jossa yölämmitystoiminta kytkeytyy päälle: pysähdyksissä ollut IV-koje käynnistyy täydelle teholle ja pellit menevät yölämmitysasentoon Huonelämmön nousua eroalueen verran säädin pysäyttää IV-kojeen ja pellit menevät sisonta-ajan asentoon. Yölämmityksen aikana säädin toimii huoneanturin ohjaamana.
- Yölämpötilan asetusarvon lisäpudotus valittuna kellonaikana
- IV-kojeen käynnistys CO₂-pitoisuuden mukaan

(Ouman EH-105 Käsikirja).

LIITE 3. Huippuimurikartoitus 1.7.2017

Nykyinen huippuimureiden tilanne. Kiinteistön huippuimureiden tiedot, sijainti, vaikutusalue, koko, moottori ja ilmamäärä. Tietoja myös muista katolla sijaitsevista laitteista.

HI-1

- Vaikutusalue: Liiketila 1.05, 515 m²,
- Sijainti: keskiosan päällä, huopakaton tasainen osuus
- Sähkönsyöttö ja ohjaus tilan 10.5 ryhmäkeskuksesta
- Hormin koko: 840 x 840
- Huippuimurin koko: 790 x 790
- Mitattu ilmamäärä: 1249 l/s (2015)
- Moottori uusittu: 2017

HI-2

- Vaikutusalue: Liiketila 1.01, 807 m² 1. krs
- Sijainti: keskiosan päällä, peltikatolla, harjan vieressä
- Sähkönsyöttö ja ohjaus tilan 10.5 ryhmäkeskuksesta
- Hormin koko: 870 x 870
- Huippuimurin koko: 620 x 620 x 400
- Mitattu ilmamäärä: 1145 l/s (2015)
- Huippuimuri uusittu: 2015
- Merkki: Kojä
- Malli: HIFEK-09-4/8-1-1-1
- Moottori: 0,65/0,08 kW, 1440/725 RPM, 2,05/0,38 A
- Max virta-arvo: 2,36/0,96 A
- K-arvo: 60,80
- Turvakytkin: BWS616TPN 400V AC23 16A

HI-3

- Huippuimuri poistettu kokonaan.

- Samalla kohtaa kolme poistoputkea + hatut, pienten liiketilojen IV-koneista.

HI-4

- Huippuimuri poistettu käytöstä. Huippuimuri on yhteydessä ullakkotilaan. Ilma pääsee vaihtumaan ullakkotilassa huippuimurin kohdalta, korvausilma tulee lähinnä toisesta päädyistä. Ilmanvaihtoa ullakkotilassa voidaan tehostaa koneellisesti jos tarvetta.

HI-5

- Huippuimuri poistettu käytöstä.

HI-6

- Huippuimuri poistettu käytöstä. (ent. ravintola huuva)

HI-7

- Vaikutusalue: Asiakas WC-tilat, 3 kpl
- Sijainti: WC tilojen päällä, lähellä kulkuovea katolle, huopakatto tasainen osuus
- Sähkönsyöttö ja ohjaus IV-konehuoneen ryhmäkeskuksesta
- Hormin koko: 730 x 730
- Huippuimurin koko: D 410
- Huippuimuri uusittu: 2015
- Merkki: Vallox
- Malli: 22P-2-1
- Moottori: EBM R2E 225, 1 nopeus, 230 V, P 0,15 kW, 2700 RPM, 0,66 A, IP 34

HI-8

- Vaikutusalue: Liiketila 2.02, 355 m² 2. krs
- Sijainti: 2. kerroksen keskipaikkeilla, savunpoistoluukkujen välissä, huopakatto tasainen osuus
- Sähkönsyöttö ja ohjaus IV-konehuoneen ryhmäkeskuksesta
- Hormin koko: 840 x 840
- Huippuimurin koko: D 610
- Mitattu ilmamäärä: 450 l/s (2015)
- Huippuimuri uusittu: 2015
- Merkki: Koja
- Malli: HIFEK-06-4(k)-1-1-1
- Moottori: 0,25 kW, 1320 RPM, 1,7 A, 230 V, 50 HZ
- Max virta-arvo: 1,7 A
- K-arvo: 60,16
- Turvakytkin: BWS316TPN 400V AC23 16A

HI-9

- Vaikutusalue: Varasto 0.01, 280 m² kellari, SPK, LJH 0. krs
- Sijainti: Tilan 1.01 portaikon vieresstä, huopakatto, tasainen osuus
- Sähkönsyöttö ja ohjaus IV-konehuoneen ryhmäkeskuksesta
- Hormin koko: 840 x 840
- Huippuimurin koko: D 790
- Huippuimuri uusittu: 2015
- Merkki: Vallox
- Malli: 40P-6/12
- Moottori: KOLMEKS ONKV –102B3/6B, 2 nopeus, P 0,55/0,07 kW, 910/405 RPM, 400 V 1,65/0,55 A, 230 V 2,85/0,95 A, IP 34

HI-10

- Entinen kuntosalin huippuimuri, poistettu käytöstä.
- Huippuimurin koko: D 710
- Merkki: Vallox
- Malli: 35P-4
- 1 nopeus, 0,65 kW, valmistettu 2004

HI-11

- Ravintolan huuva, liiketila 1.08

HI-Käytävä

- Vaikutusalue: Käytävä, koulukadun pääty
- Sijainti: Vanhan IV-konehuoneen vieressä lähellä ulkoseinää
- Hormin koko: 800 x 800
- Huippuimurin koko: 800 x 800

Kanavapuhallin

- Tilassa 1.01
- Lämpökuorman poisto

Matias Poukka 1.7.2017

LIITE 4. Tarjousten yhteenveto

Tarjous 1

Suurin HCell huippuimurikatos (HIP) mitoitusilanteessa

Ilmavirta mitoitusteho	1,25	m ³ /s	
Lämpötila meno/paluu	21,0 / 3,5	°C	
Teho	26,8	kW	
Ilman otsapintanopeus	1,2	m/s	
Nestevirtaus	1,44	dm ³ /s	
Etyleeniglykoli	30	%	
Lämpötila meno/paluu	3,0/7,9	°C	
Nestetilavuus	34	dm ³	
Patterin massa	365	kg	
Painehäviö, ilma mitoitusteho	119	Pa	
Painehäviö, neste	53	kPa	
Patterin rivisyys	17	kpl	
Patterin mitat (LxKxS)	1670 x 785 x 1180	mm	

Järjestelmän hamottamiseksi kaikki poistot lasketaan yhteen.

	esilämmityspatteri	huippuimurikatos
(HIP) Ilmavirta täysteho	3,00	3,80 m ³ /s
Ilmavirta mitoitusteho	3,00	3,80 m ³ /s
Lämpötila meno/paluu	-29,0 / 5,6	21,0 / -8,2 °C
TEHO	139,5	139,5 kW
LTO -hyötysuhde	69,2	%
Ilman otsapintanopeus	1,2	1,3 m/s
Nestevirtaus	1,19	dm ³ /s
Lämpötila meno/paluu	14,8 / -16	-16 / 14,8 °C
Nesteen virtausnopeus 0,47	0,47 m/s	
Painehäviö, ilma mitoitusteho	58	82 Pa
Painehäviö pumpulle, patterit	239	kPa

Tarjous 2

Puhaltimien ohjaus	Portaaton kierroslukusäätö.
Lämpötilahyötysuhde LTO(EKO)	80 % (2009/125/EY mukaisesti)
Nimellisilmavirta	3.0 m ³ /s
Sähkön ottoteho	1.64 kW
SFPint	545 W/(m ³ /s)

Tulokone

Otsapintanopeus 1.97 m/s

Ulkoinen nimellispaine $\Delta P_{s,ext}$ 300 Pa

Ilmanvaihtokomponenttien sisäinen 190 Pa

painehäviö $\Delta P_{s,int}$ Muiden komponenttien sisäinen 99 Pa

painehäviö $\Delta P_{s,add}$ Puhaltimen staattinen hyötysuhde 62 %

Poistokone

Otsapintanopeus 1.97 m/s

Ulkoinen nimellispaine $\Delta P_{s,ext}$ 300 Pa

Ilmanvaihtokomponenttien sisäinen 149 Pa

painehäviö $\Delta P_{s,int}$ Muiden komponenttien sisäinen 34 Pa

painehäviö $\Delta P_{s,add}$ Puhaltimen staattinen hyötysuhde 62 %

Puhallinhyötysuhteet sisältävät kierroslukusäädön aiheuttamat häviöt Kojan laskentaohjelmalla:

TK1 / PK1

Poistoilman lämpötila, talvi / kesä 22 / 25 °C

Tuloilman lämpötila, talvi / kesä 20 / 15 °C

LTO jäätymisraja -5°C

Tuloilman lämpötilahyötysuhde 80%

SFP-luku (mitoitusilmavirta) 1.80kWs/m³

LTO vuosihyötysuhde, poisto 62%

LTO vuosihyötysuhde, tulo 96%

Vuotuiset energiatarpeet

Poistoilman lämpöenergia Q_{poisto} 324.9MWh

Lämmitysenergian tarve Q_{tulo} 219.7MWh

Talteenotettu energia Q_{LTO} 200.9MWh

Tuloilman lisälämmitystarve 7.7MWh

Tuloilman jäähdytystarve 12.6MWh

Puhallinenergian tarve 25.8MWh

Lämmitysvaikutus Q_{puhallin} 11.2MWh

Lämmitysenergian hinta 50€ / MWh

Sähkön hinta 90€ / MWh

Lämmitys 384€ / vuosi

Jäähdytys 378€ / vuosi

Puhallin 2324€ / vuosi

Yhteensä 3086€ / vuosi

Investointikustannukset 150 000€